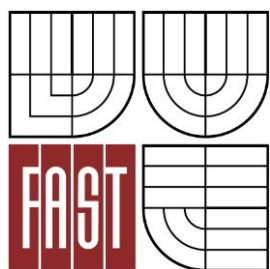




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU NA ŘECE ROMŽI

PROPOSAL OF THE WATER DIVIDER ON THE RIVER ROMŽE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. JOSEF BLAHA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. HANA UHMANNOVÁ, CSC.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Josef Blaha
Název	Návrh rozdělovacího objektu na řece Romži
Vedoucí diplomové práce	Ing. Hana Uhmánová, CSc.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016
V Brně dne 31. 3. 2015	

.....
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- Odborná literatura:
- Raplík M., Výbora P., Mareš K. Úprava tokov, Alfa, Bratislava. 1989.
Mareš K. Úpravy toků, ČVUT, Praha. 1997.
Kolář, V., Patočka, C., Bém, J. Hydraulika. SNTL/ALFA. Praha. 1983.
Gabriel, P., Grandtner, T., Průcha, M., Výbora, P. Jezy. SNTL. Praha. 1989.
Jandora, J., Uhmánová, H. Proudění v systémech říčních koryt. VUT FAST Brno, 2006.
POVODÍ MORAVY. Studie: Záplavové území Romže; km 0,000 – 15,072. Brno, 2010.
POVODÍ MORAVY. Studie: Záplavové území Hloučely; km 0,000 – 16,329. Brno, 2010.
Havlík, V., Marešová, I. Hydraulika II, Příklady. 1. vydání. ČVUT, Praha. 1995. ISBN 80-01-01384-7
Juráňová, B. Návrh bypassu v rámci protipovodňové ochrany města Prostějov. VUT Fast, Brno 2015

Zásady pro vypracování

Diplomová práce je zaměřena na návrh rozdělovacího objektu na řece Romži v blízkosti města Prostějov. Rozdělovací objekt umožní odlehčení vyšších průtoků z Romže do odlehčovacího kanálu, který ústí do řeky Hloučely. Rozdělovací objekt bude řešen jako boční přeliv s pohyblivým uzávěrem. V rámci diplomové práce je potřeba navrhnout parametry objektu, tj výšku a tvar přelivné hrany, šířku přelivu, napojení objektu na odlehčovací kanál a vhodný typ pohyblivého uzávěru. Kapacitu přelivu je nutné ověřit hydraulickým výpočtem vlastním sestaveným programem v excelu a následně pak provést porovnání s výpočtem provedeným pomocí programu HEC-RAS. Diplomová práce bude obsahovat:

Textovou část – Úvod, popis řešené lokality, hydrotechnické výpočty, návrh objektu, zhodnocení návrhu, závěr.

Přílohy – výkresová dokumentace v rozsahu studie (situace řešeného úseku, podélný profil toku, výkresy navržených objektů a opatření).

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Ing. Hana Uhmánová, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou návrhu odlehčovacího objektu v blízkosti Prostějova na řece Romži. Odlehčované průtoky budou převáděny do řeky Hloučely. V rámci práce jsou řešeny hydraulické výpočty bočního přelivu v prostředí programu Excel dle Bürgela, Pavloskeho, Engelse, Musterleho, Kunštátského, Hagera, energetickým řešením a pomocí programu HEC-RAS. Výpočty byly vzájemně porovnávány. Na základě provedených výpočtů je navržena geometrie odlehčovacího objektu na řece Romži a navazujících staveb. Požadovaná funkce odlehčovacího objektu je zaručena manipulací s navrženými stavidlovými uzávěry. Práce obsahuje textovou část s výpočty a výkresovou část dokumentující provedení navrhovaných opatření.

Abstrakt

The diploma thesis deals with the design of the water divider near Prostějov on the Romže River. Divider flows will be transferred into the Hloučela River. Within the thesis, hydraulic calculations of the side spillway were solved according to Bürgel, Pavlosky, Engels, Musterle, Kunštátský, Hager and energy solution methods in the Microsoft Excel spreadsheet and by using the HEC-RAS program as well. The calculations were compared to each other. Geometry of the relief water divider on the Romže River and the related buildings was designed based on the performed calculations. The required function of the relief object is guaranteed by manipulation of designed sluice gate. The study includes the text part with the calculations and the drawing part documenting the implementation of the designed measures.

Klíčová slova

HEC-RAS, vodní tok, boční přeliv, pohyblivý jez, stavidlový jez, odlehčovací objekt.

Keywords

HEC-RAS, water flow, side spillway, gated weir, slide gate weir, water divider.

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Josef Blaha *Návrh rozdělovacího objektu na řece Romži*. Brno, 2015. 92 s., 27 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Hana Uhmánová, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.01.2016

.....
podpis autora
Bc. Josef Blaha

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Haně Uhmannové, CSc., vedoucí mé diplomové práce, za odborné vedení, připomínky, podněty, informace a trpělivost, se kterou mi pomáhala při tvoření této diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat mému okolí a mým nejbližším za podporu.

OBSAH

OBSAH	7
1 ÚVOD	10
2 ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	11
2.1 Správní údaje	11
2.2 Údaje o povodí.....	11
2.3 Geologické údaje	12
2.3.1 Sondy	13
2.3.2 Poddolování.....	13
2.4 Poměry pedologické.....	13
2.5 Poměry klimatické	14
2.6 Poměry hydrologické	16
2.7 Údaje o zemědělství	17
2.8 Údaje o lesnictví	18
2.9 Energetické využití toku.....	18
2.10 Čistota vod	19
2.11 Povodně	20
2.11.1 Přírozené povodně	20
2.11.2 Zvláštní povodeň	22
3 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU TOKU	25
3.1 Charakteristika toku	25
3.2 Objekty na toku	26
4 POHYBLIVÉ JEZY	27
4.1 Obecné informace	27
4.2 Stavidlové jezy	27
4.3 Klapkové jezy	28
4.4 Segmentové jezy	29

5	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	31
5.1	Základní informace	31
5.2	Boční přeliv	32
5.2.1	Stanovení odlehčovaného průtoku	33
5.2.2	Výpočet přepadového součinitele	34
5.3	Program HEC-RAS 4.1.0	35
5.3.1	Okrajové podmínky	35
5.3.2	Určení drsnostních součinitelů dle Manninga	36
5.3.3	HEC-RAS – boční konstrukce	36
5.3.4	Hagerova rovnice bočního přepadu	37
5.3.5	Modelování bočního přelivu v programu HEC-RAS	38
5.3.6	Skluz a vývar	43
5.4	Hydraulický návrh bočního přelivu	44
5.4.1	Přepad přes boční přeliv – modelový výzkum - Bürgel	44
5.4.2	Přepad přes boční přeliv – Pavlovskij	45
5.4.3	Přepad přes boční přeliv – Engels	45
5.4.4	Přepad přes boční přeliv – Musterle	46
5.4.5	Přepad přes boční přeliv – Kunštátský	46
5.4.6	Přepad přes boční přeliv – Hager	48
5.4.7	Energetické řešení	52
6	NÁVRH STAVEBNÍ ČÁSTI	55
6.1	Úprava koryta	55
6.2	Návrh rozdělovacího objektu	57
6.2.1	Geometrie rozdělovacího objektu	57
6.3	Odlehčovací kanál	59
6.3.1	Vegetační doprovod	62
6.3.2	Komunikace a údržba	62
6.4	Upřesnění návrhu rozdělovacího objektu	63
6.4.1	Aplikování geometrie kanálu	63
6.4.2	Aplikování geometrie Hloučely	63
6.4.3	Součinitel zatopení	64
6.5	Měrná křivka přepadu přes spodní stavbu	64
6.6	Hradící konstrukce	68
6.7	Manipulace	69
6.8	Zaústění do toku Hloučely	79
7	ZHODNOCENÍ	81

8	ZÁVĚR	82
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	83
10	PŘEDPISY	85
11	POUŽITÉ ZKRATKY A ZNAČKY	86
12	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	88
13	SEZNAM TABULEK	89
14	SEZNAM GRAFŮ.....	90
15	SEZNAM PŘÍLOH.....	91

1 ÚVOD

Reakcí na povodňové události v letech 2005 a 2006, kdy bylo město Prostějov zasaženo povodněmi, bylo v roce 2011 aktualizování záplavových území pro vodní toky Hloučela, Romže, Valová a Český potok. V návaznosti na změnu záplavových území se začala řešit komplexní protipovodňová ochrana města Prostějov. Rozdělovací objekt na toku Romže, který by převáděl povodňové průtoky do toku Hloučely, je zamýšlen jako součást protipovodňové ochrany města Prostějov. V současné době se s rozdělovacím objektem i s navazujícím kanálem počítáno v územním plánu města Prostějov.

Diplomová práce je zaměřena na návrh rozdělovacího objektu na řece Romži v blízkosti města Prostějov. Objekt umožní odlehčení vyšších průtoků z Romže do odlehčovacího kanálu, který ústí do řeky Hloučely. Odlehčení zajistí zlepšení povodňových průtoků na Romži při zachování bezpečných průtoků na Hloučele.

Hlavním cílem je návrh nejvhodnějšího rozdělovacího objektu z hlediska hydraulického, stavebního i finančního, který bude zlepšovat protipovodňová opatření okolí města Prostějov. Návrh objektu bude podložen hydrotechnickými výpočty. Výsledný návrh bude prezentován ve výkresové dokumentaci.

Diplomová práce navazuje na *Juráňová* [24] a vychází z již provedeného výzkumu. Základními vstupy pro řešení práce jsou:

- umístění rozdělovacího objektu na Romži, ř. km 3,667,
- zaústění odlehčovacího kanálu do Hloučely v ř. km 3,396,
- nerespektování trasy z hlediska územního plánu,
- nutnost odlehčování od průtoků, který se rovná hodnotě $Q_{20} = 21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- provádět odlehčení do průtoků $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- odlehčování provádět do průtoků $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Hloučele,
- nutnost manipulace na bočním přelivu.

Pro řešení diplomové práce bylo zapotřebí zpracovat příčné profily a podélné profily toků Romže a Hloučely, poskytlo Povodí Moravy, s.p.

2 ZÁKLADNÍ INFORMACE

2.1 SPRÁVNÍ ÚDAJE

Řešený odlehčovací objekt na toku Romže s navazujícím odlehčovacím kanálem a zaústěním do toku Hloučely, se budou rozkládat na dvou katastrálních územích. Rozdělovací objekt a část kanálu bude náležet katastru obce Držovice na Moravě, k.ú. 632783. Dolní část kanálu a zaústění do toku řeky Hloučely se bude nacházet v katastru obce Prostějov, k.ú. 589250. Obě obce leží v Olomouckém kraji v okrese Prostějov.

2.2 ÚDAJE O POVODÍ

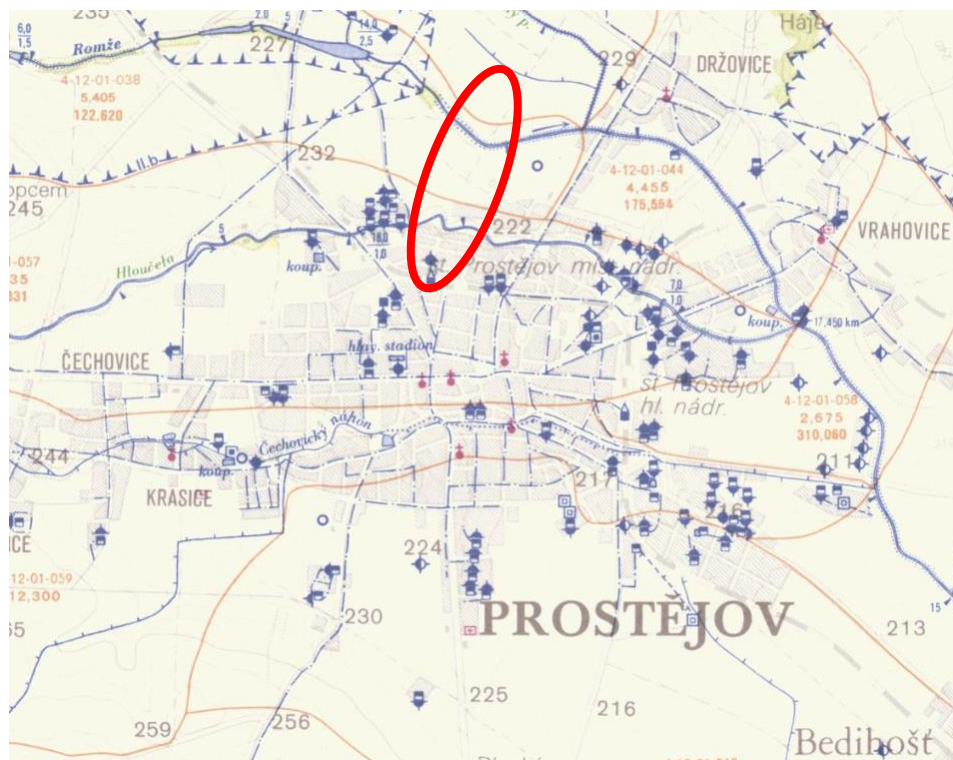
Předmětem diplomové práce je návrh objektu, který se bude nacházet na povodí toku Hloučely, číslo hydrologického pořadí 4-12-01-045 a jejího levostranného přítoku Romže, číslo hydrologického pořadí 4-12-01-044. Číslo vodohospodářské mapy s měřítkem 1:50 000 je 24-24.

Hloučela pramení v lesích Dražanské vrchoviny, severně od obce Buková. Délka toku, od pramene po soutok s tokem Romže v Prostějově je cca 39 km. Celková plocha povodí je 129,0 km². Na toku leží vodní dílo Plumlov. Průměrný průtok pod tímto vodním dílem činí $Q_a = 0,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tok proudí převážně západním směrem.

Významné přítoky řeky jsou: říčka Zábrana (P), Repešský potok (P), potok Osina (P), potok Roudník (L), Potok Kleštín (P), řeka Romže (L). [1]

Řeka Romže, pod soutokem s Hloučelou označovaná jako Valová, pramení ve vesnici Džbel v nadmořské výšce 485,11 m. Řeka Romže se vlévá do řeky Moravy u Kojetína na jejím 122,87. ř. km (192,68 m n. m.). Číslo hydrologického pořadí toku Romže je 4-12-01-026. Celková délka toku je 49,58 km a povodí má plochu 455,68 km².

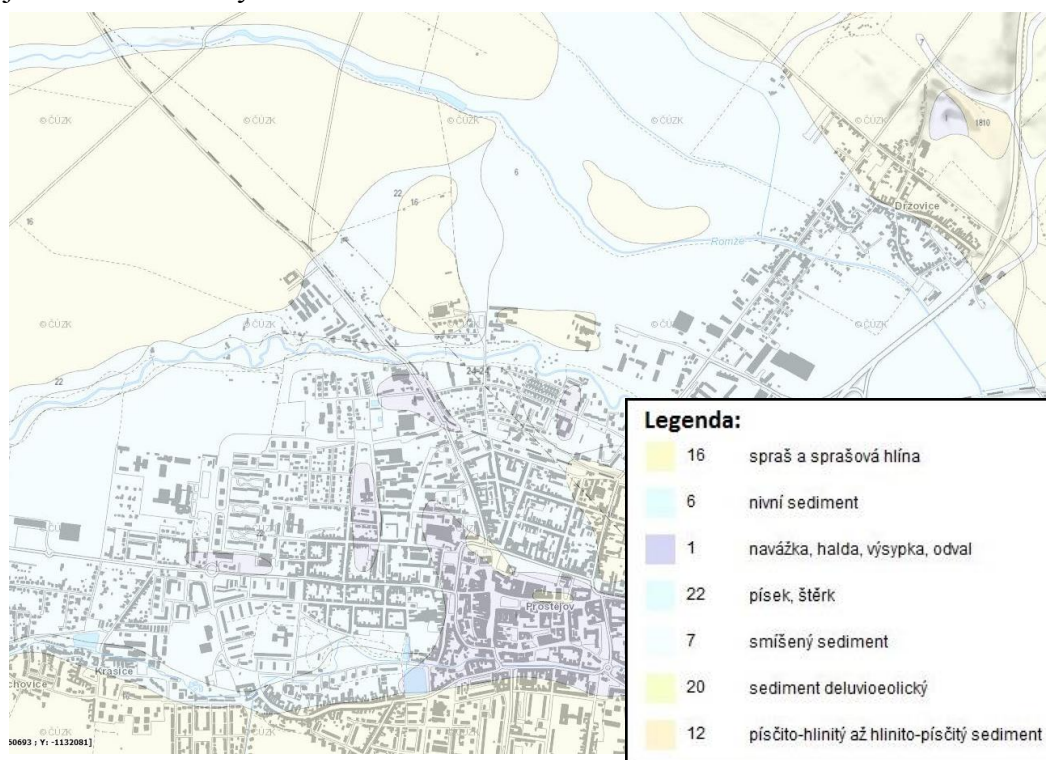
Významné přítoky řeky jsou Terezínský potok (P), Otínský potok (P), Runářovský potok (P), Divoký potok (P), potok Bukovanka (P), Brodecký potok (P), potok Ptenka (P), Zdětínský potok (P), Hluchovský potok (L), Lešenský potok (P) a Český potok (L) [2].



Obr. 1: Zájmové území [3]

2.3 GEOLOGICKÉ ÚDAJE

Zájmová lokalita leží v Českém masivu. Horniny zde utvořené jsou horniny kvartérní. Převážně se jedná o nivní sedimenty, písky, šterky a všeobecně útvary spojené s činností řeky.



Obr. 2: Geologické poměry [4]

2.3.1 Sondy

Řešená lokalita má velkou hustotu průzkumných vrtů. Dokonce i v místech případné výstavby se nachází dva vrty viz *Obr 3*. Ve vrtech v trase odlehčovacího kanálu je minimální hladina podzemní vody 1,8 m pod úrovní terénu [24].



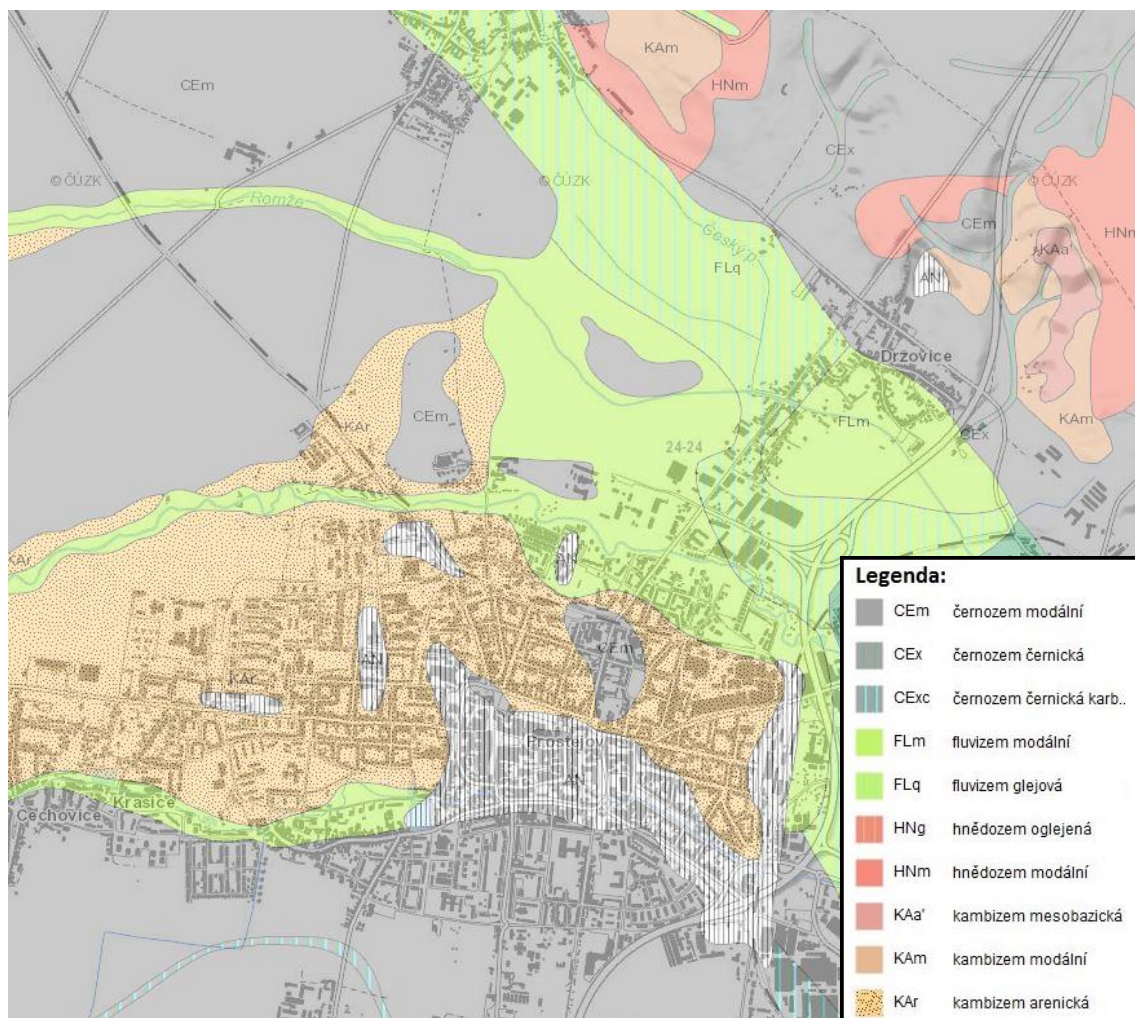
Obr. 3: Rozmístění sond [5]

2.3.2 Poddolování

V dané lokalitě nejsou známa žádná důlní díla podpovrchového ani povrchového rázu.

2.4 POMĚRY PEDOLOGICKÉ

Okolí toku tvoří převážně říční sedimenty. Širší okolí je tvořeno úrodnou černozemí.



Obr. 4: Pedologické poměry [6]

2.5 POMĚRY KLIMATICKÉ

Nejbližší meteostanice je v Prostějově ID B1PROS01, okres Prostějov, kraj Olomoucký. Meteostanice je provozována od roku 1973 do současnosti.

Tab. 1: Průměrné klimatické hodnoty pro Olomoucký kraj 2003 [7]

Stanice (nadmořská výška)	Měsíc												Rok celkem	
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.		
	Průměrná teplota vzduchu (°C)													
Olomouc (259 m)	N	-2,4	-0,2	3,8	9,1	14,2	17,1	18,6	18,0	14,3	9,1	3,7	-0,4	8,7
	H	-2,5	-3,3	3,8	8,7	16,8	21,1	20,1	21,5	14,6	6,3	5,6	-0,5	9,4
	O	-0,1	-3,1	0,0	-0,4	2,6	4,0	1,5	3,5	0,3	-2,8	1,9	-0,1	0,7
	Úhrn srážek (mm)													
Olomouc	N	27,5	25,5	27,2	37,8	73,3	78,4	76,4	68,8	44,5	40,0	40,4	30,3	570,0
	H	30,7	2,0	4,8	32,2	86,8	4,9	95,8	23,3	25,1	60,7	32,6	49,9	448,8
	Sr	111,6	7,8	17,6	85,2	118,4	6,3	125,4	33,9	56,4	151,8	80,7	164,7	78,7
	Trvání slunečního svitu (h)													
Olomouc	N	38,7	65,8	113,4	166,2	215,9	213,9	228,5	216,9	159,2	118,8	46,3	33,2	1 616,7
	H	41,8	129,2	186,4	216,8	295,3	334,2	238,2	329,9	209,2	104,4	49,8	75,6	2 210,8
	Sv	108,0	196,4	164,4	130,4	136,8	156,2	104,2	152,1	131,4	87,9	107,6	227,7	136,7

Vysvětlivky:

N - normály klimatických hodnot za období 1961-1990

H - klimatické hodnoty naměřené v roce 2003

O - odchylka od normálu (°C)

Sr - průměrný úhrn srážek v roce 2003 v % průměrného srážkového normálu

Sv – průměrná doba trvání slunečního svitu v roce 2003 v % průměrného normálu

Tab. 3: N-leté průtoky na řece Romži, r. 2010 [13]

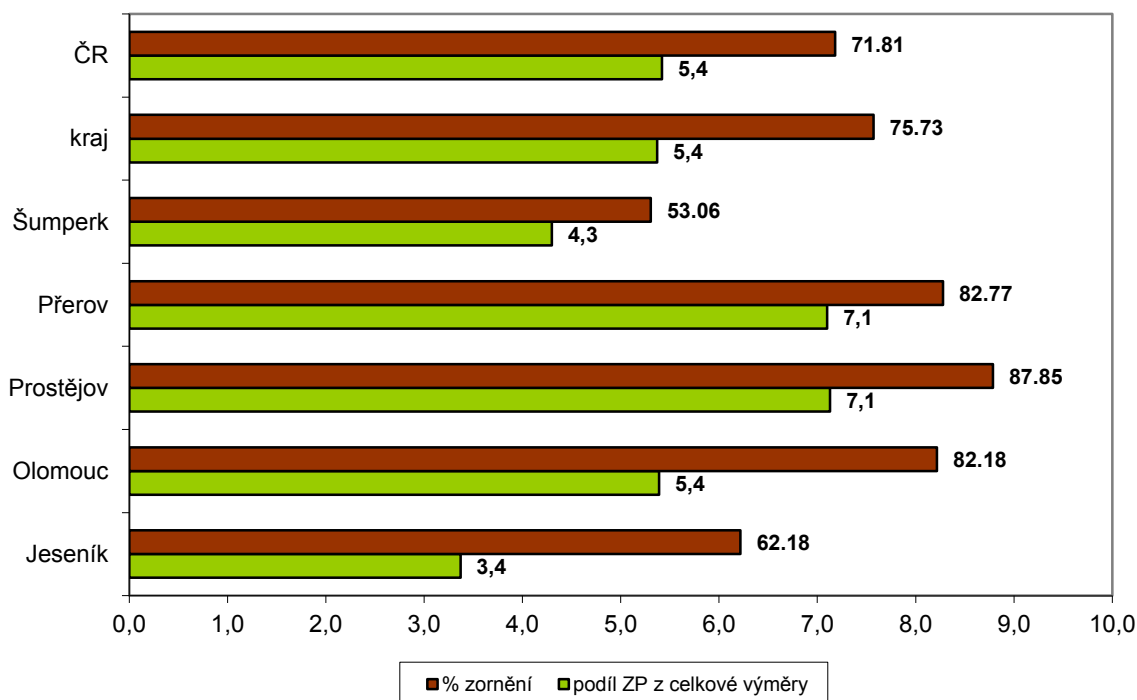
Průtoky na řece Romži	Q _N - N-leté průtoky [m ³ ·s ⁻¹]					
	1	5	10	20	50	100
nad Českým potokem	4,5	12,1	16,5	21,8	29,9	37,0
nad Hloučelou	5,5	14,1	19,0	24,7	33,4	41,0

Pro navrhování rozdělovacího objektu budou použity průtoky nad napojením odlehčovacího kanálu do toku Hloučely $Q = 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $Q = 3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Uvedené průtoky odpovídají hodnotám starších údajů o průtocích Q₁ a Q₅.

Neškodný průtok na řece Hloučele, na území města Prostějova, je stanoven na hodnotu $Q = 12,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z uvedeného vyplývá, že při odlehčování průtoku $Q_0 = 8,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je hodnota průtoku $Q = 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Hloučele je maximálně možným průtokem, při kterém bude docházet k odlehčování [14, 26].

2.7 ÚDAJE O ZEMĚDĚLSTVÍ

Půdy v okrese Prostějov jsou velmi vhodné k zemědělství. Většinou se jedná o hnědozemě a černozemě. V okrese Prostějov je 71% zastoupení zemědělské půdy. V Olomouckém kraji připadá 0,43 ha zemědělské půdy na jednoho obyvatele.



Graf 1: Podíl ZP z celkové výměry a procento zornění v roce 2003 [7]

Tab. 4: Využití území v blízkosti řešeného toku [18]

Využití území		
Popis	%	km²
Uměle přetvořené plochy	7,3	13
Orná půda	59,9	106,5
Trvalé plodiny	0	0
Travní porosty	1,5	2,7
Smíšené zemědělství oblasti	5,1	9
Les, polopřírodní vegetace	26,3	46,8
Mokřady	0	0
Vody	0	0

2.8 ÚDAJE O LESNICTVÍ

Řešené území patří do mikroregionu Českomoravské mezihoří, které má 79 240 ha lesních ploch, 1.- 6. vegetační stupeň (47% ve 4., 31% ve 3.), pásmo ohrožení imisemi: D(36,1%), D(63,9%).

Tab. 5: Bilance lesní půdy v roce 2003 [7]

	lesní půda v ha	podíl lesní půdy/obyvatele v ha	lesnatost v % (podíl z celkové rozlohy)
Jeseník	42 632	1,01	59,3
Olomouc	44 627	0,2	29,6
Prostějov	14 896	0,14	19,3
Přerov	13 510	0,1	16
Šumperk	63 466	0,51	48,2
Olomoucký kraj	179 131	0,28	34,7
ČR	2 644 168	0,26	33,5

Přímo v nejbližším okolí řešené lokality se nevyskytuje žádný souvislý lesní porost.

2.9 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ TOKU

Na toku Romže nedochází k energetickému využívání vodní energie. Na toku Hloučela je postavena malá vodní elektrárna na VD Plumlov. Je zde umístěna turbína typu Banki o výkonu až 31 kW a hltnosti až 342 litrů za vteřinu, využívající spád vody 8,6 metru [16].

2.10 ČISTOTA VOD

Díky budování nových čistíren odpadních vod, rekonstrukcím stávajících ČOV a probíhajícím nebo již provedeným pozemkovým úpravám v povodích nad městem se v současné době čistota vod v okolí města Prostějov zlepšuje.

Tab. 6: Hodnocení stavu vodního toku [18]

Profily použité pro hodnocení									
Kód profilu	Tok	Název		Ukazatel překračující limity				Poznámka	
YPPRo001	Romže	Vrahovice (ústí)							
Ekologický stav									
Fyzikálně chemické složky				Biologické složky					
V.F - CH.L.		SPECIF. ZNEČ. L.		RYBY		BENTOS		CHLOROFYL	
Přímé	Nepřímé	Přímé	Nepřímé	Přímé	Nepřímé	Přímé	Nepřímé	Přímé	Nepřímé
N	-	V	V	PN	c	N	N	-	-
nevyhovující		vyhovující		pot. nevyhovující		nevyhovující		-	
nevyhovující				nevyhovující					
				nevyhovující					
nevyhovující									
BSK ₅ , fosfor									

Chemický stav			
SYNTECKÉ LÁTKY		KOVY	
Přímé	Nepřímé	Přímé	Nepřímé
V	V	V	V
vyhovující		vyhovující	
vyhovující			

Celkový stav VÚ	
Ekologický stav	Chemický stav
nevyhovující	vyhovující
Celkový stav	
nevyhovující	

Silně ovlivněný vodní útvar	
HMWB	Důvody vymezení
ne	

Vysvětlivky: V - vyhovující, PN – potenciálně nevyhovující, N - nevyhovující, HMWB – silně ovlivněný vodní útvar, VÚ – vodní útvar.

*) dle předběžného vymezení HMWB byl vodní útvar vyhodnocen jako přírodní nebo silně ovlivněný a následně zařazen do skupiny:

A - vodní útvary s nenávratně změněným stavem bránícím dosažení dobrého ekologického stavu a se zřejmě nenahraditelným užíváním

B - vodní útvary s vysokou pravděpodobností nedosažení dobrého ekologického stavu,

C - vodní útvary s rizikem nedosažení dobrého ekologického stavu, které však bude nutné posoudit po ustanovení referenčních podmínek.

Tab. 7: Bodové znečištění toku [18]

Bodové znečištění - souhrnné údaje [t/rok]				
BSK ₅	CHSK _{CR}	N-NH ₄	N _{anorg}	P _{celk.}
9,331	24,817	4,371	4,872	2,983
Plošné znečištění				
Dusík - bilanční přebytek [kg/ha/rok]				36,37
Fosfor - vstup erozí [kg/ha/rok]				1,45
Podíl plochy zranitelných oblastí [%]				95,6

Tab. 8: Vypouštění vod dle původu [18]

Vypouštění vod				
	Skutečné		Povolené	
Odvětví	tis. m ³ /rok	l/s	tis. m ³ /rok	Počet vyp.
komunální	340,9	10,8	553,5	4
zemědělství				
energetika				
průmysl				
ostatní				
celkem	340,9	10,8	553,5	4

Tab. 9: Zdroje vypouštění vod [18]

Výčet vypouštění	Vodní tok	Typ	l/s
Kostelec na Hané - ČOV	Mlýnská strouha	komunální	4,8
Brodek u Konice - VK	Brodecký potok	komunální	3,1
Čechy pod Kosířem ČOV	Český potok	komunální	2,6
Čelechovice na Hané VK	Český potok	komunální	0,3

2.11 POVODNĚ

2.11.1 Přírozené povodně

Přírozenou povodní je povodeň způsobená přírodními jevy. Jedná se o situaci, při které hrozí zaplavení území nebo o situaci označenou předpovědní povodňovou službou podle vodního zákona č. 254/2001 Sb. § 73 odst. 1 nebo povodňovými orgány, zejména při:

- déle trvajících vydatných dešťových srážkách, popř. prognóze nebezpečí intenzivních dešťových srážek, očekávaném náhlém tání, nebezpečném chodu ledů nebo při vzniku nebezpečné ledové zácpy a nápěchů,

- dosažení směrodatného limitu vodního stavu nebo průtoku ve vodním toku a jeho stoupající tendenci [21].

Poslední větší povodňové události byly zaznamenány v roce 2005 a následně v roce 2006, kdy zasáhla město Prostějov přibližně padesátiletá povodeň. Vlivem povodňové události došlo k vyběžení řek Hloučely a Romže a k zaplavení zahrad a sklepů rodinných domů, garáží a zahrad v zahrádkářské kolonii.

V důsledku těchto povodňových událostí byla v roce 2011 nově stanovena a aktualizována záplavová území pro průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} pro vodní toky Hloučela, Romže, Valová a Český potok. V záplavovém území průtoku Q_{100} se ocitlo 67 ha zastavěné části města Prostějova. V současné době je zpracovávána studie proveditelnosti protipovodňové ochrany města Prostějova a přilehlých obcí. Výsledné vyhodnocení a návrh výsledných technických parametrů stavby by měl být znám do konce roku 2015 [20].



Obr. 6: Rozliv vody při povodni Q_{20} [27]

šířka 6 m, výška hráze nad terénem činí 17 m. Po koruně hráze vede místní komunikace široká 5 m. Tělesem hráze nejsou vedeny inženýrské ani telekomunikační sítě. Šířka hráze má v základech 70 m.

Vodní nádrž je dlouhá 1 800 m, maximální zatopená plocha je 65 ha, celkový objem nádrže zaujímá $5,566 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Rozsah a účinek zvláštní povodně:

- A. Při neočekávaném rozrušení hráze vodního díla (napadení) budou účinky průlomové vlny:
- úplně zničeny: obec Mostkovice, místní část města Prostějov - Krasice,
 - částečně zničeny: místní části města Prostějov - Domamyslice, Čechovice,
 - zatopené město: Prostějov, poškozené jeho okrajové části, menší stavby a přízemní byty,
 - částečně poškozeny: obce, (nebo jejich části) místní část města Prostějov Vrahovice, Bedihošť, Hrubčice, Čehovice, Ivaň.
- B. Při očekávaném rozrušení (napadení) hráze vodního díla tj. po vypuštění obsahu nádrže na bezpečnou výšku 268 m n. m., podle alternativy II dojde ke zničení objektů v blízkosti řečiště, k jeho úplné devastaci, k zaplavení ploch v okolí řečiště.
- C. Při očekávaném rozrušení (napadení) hráze vodního díla a při jeho vypuštění podle alternativy I nedojde k poškození objektů, řečiště ani k zaplavení zemědělských ploch [19].

Tab. 10: Doba prázdnění maximálním naplnění nádrže [19]

Typ	Čas
Alternativa I	2 dny a 11 hodin
Alternativa II	1 den a 7 hodin
Úplné rozrušení hráze	12 minut

Tab. 11: Hydrotechnické výpočty průlomové vlny [19]

Obec	Počet ohrožených osob	Vzdálenost od přehrady [km]	Čas příchodu čela průlomové vlny [min]	Rychlost čela průlomové vlny [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	Výška čela průlomové vlny [m]
Stichovice - Mostkovice		0,5	1	8,9	6,5
Mostkovice	1285	1,1	2	8,4	5,1
Domamyslice - Prostějov		2,3	3	6,1	3
Čechovice - Prostějov		2,9	6	5,6	2,1
Krasice - Prostějov		3,4	8	5	1,9
Prostějov	48027	5,6	15	4,4	1,3
Vrahovice - Prostějov		9,8	28	3,6	2,2
Bedihošť	1045	12,9	51	3,2	0,7
Hrubčice	787	14	56	3,2	0,9
Čehovice	516	14,4	58	3,2	0,7
Otonovice - Čehovice		14,7	60	4	1,1
Ivaň	475	20,1	96	1,7	0,2

Maximální počáteční výtokové množství z vodní nádrže je $19\,500\,\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Průlomová vlna se sníží (vymizí) až v místě soutoku řek Valová a Morava (Přerov, 1 km s.z. Uhřetice) a poklesne na úroveň stoleté vody.

Silniční mosty budou zničeny až po město Prostějov.

[19]

3 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU TOKU

3.1 CHARAKTERISTIKA TOKU

Řešený rozdělovací objekt se bude nacházet na toku Romže v ř. km 3,667. V tomto staničení bude umístěna konstrukce bočního přelivu. Úsek se rozkládá v polní trati mimo intravilán města Prostějov. Levobřežní i pravobřežní inundace je tvořena zemědělsky obdělávanými plochami. Nedaleko od objektu se nachází jedna z průmyslových zón města Prostějov.

Břehy Romže jsou zde neudržované, hustě porostlé dřevinami a bylinami. Nachází se zde velké množství mrtvého dřeva a vývrátů, které zasahuje i do průtočného profilu. Částečně je to způsobeno nevhodně rostoucími stromy pod břehovou čarou toku. Místy je možné vidět nátrže na březích, jakožto pozůstatky průchodu velkých vod. Dno toku je tvořeno valouny o přibližné velikosti do průměru zrn 120 mm. Za běžných podmínek je v tomto úseku tok Romže málo vodný.



Obr. 8: Charakter koryta toku Romže



Obr. 9: Nátrž břehu po průchodu povodně

Profil toku má charakter nepravidelného lichoběžníku. Přibližný sklon levého břehu je 1:5 a sklon pravého břehu odpovídá přibližně hodnotě 1:2. Průměrná šířka dna koryta je na úseku 6,28 m. Hloubka koryta po břehovou čáru je přibližně 2,2 m. Průměrný sklon dna je v úseku 2,76‰

3.2 OBJEKTY NA TOKU

V oblasti umístění objektu na toku Romži se nenachází žádné objekty, které by ovlivňovaly výpočet, modelování nebo návrh rozdělovacího objektu. Výše proti proudu se nachází soustava pevných jezů.

Tok Hloučely prochází intravilánem města Prostějov. Z tohoto důvodu se na tomto úseku nachází mnoho mostů a lávek. Tyto objekty nemají žádný zásadní vliv na výpočet a návrh rozdělovacího objektu na toku Romže.

4 POHYBLIVÉ JEZY

4.1 OBECNÉ INFORMACE

Vzhledem k požadavkům na rozdělovací objekt, musí být boční přeliv proveden jako pohyblivý jez. Konstrukce pohyblivého typu jezu umožňuje manipulaci a tím pádem i ovlivnění odlehčovaného průtoku. Vstupní předpoklad je, že přelivná hrana bude umístěna na úroveň průtoku $Q_{20} = 21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, při kterém se začne odlehčovat průtok na toku Romže. Maximální odlehčovaný průtok je určen na hodnotu $Q_{\max} = 8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Větší průtoky nesmí být odlehčovány z důvodu kapacity toku Hloučely. Ovlivnění odlehčovaného průtoku bude zajišťovat manipulace na objektu. Hradící konstrukce, případně jez, by měly být uzpůsobeny tak, aby nedocházelo ke vnášení nečistot unášených proudem do odlehčovacího kanálu.

Konstrukce pohyblivého jezu by měla být jednoduchá na stavbu i na manipulaci. Koryto toku v místě navrhovaného rozdělovacího objektu je kapacitní i na průtok Q_{100} . Bezpečný přístup k objektu bude tedy zajištěn při všech provozních průtocích. Předpokladem je, že ovládání bude řešeno automaticky. Není reálné, aby bylo ovládání manipulace řešeno manuálně. Z hlediska časové prodlevy příjezdu obsluhy, tak i z hlediska proměnných průtoků na Romži a z toho plynoucí potřeba neustále manipulace, není ruční manipulace možná. Pro automatickou manipulaci bude nutné zřídit v toku Romže nad rozdělovacím objektem měrný profil.

Pohyblivé jezové konstrukce umožňují plynulou regulaci výšky hladiny v jezové zdrži. Pohyblivé jezy se podle konstrukce dělí na jezy hradidlové, hradlové, pokloповé, stavidlové, klapkové, segmentové, válcové a hydrostatické, vakové, kombinované a speciální [15].

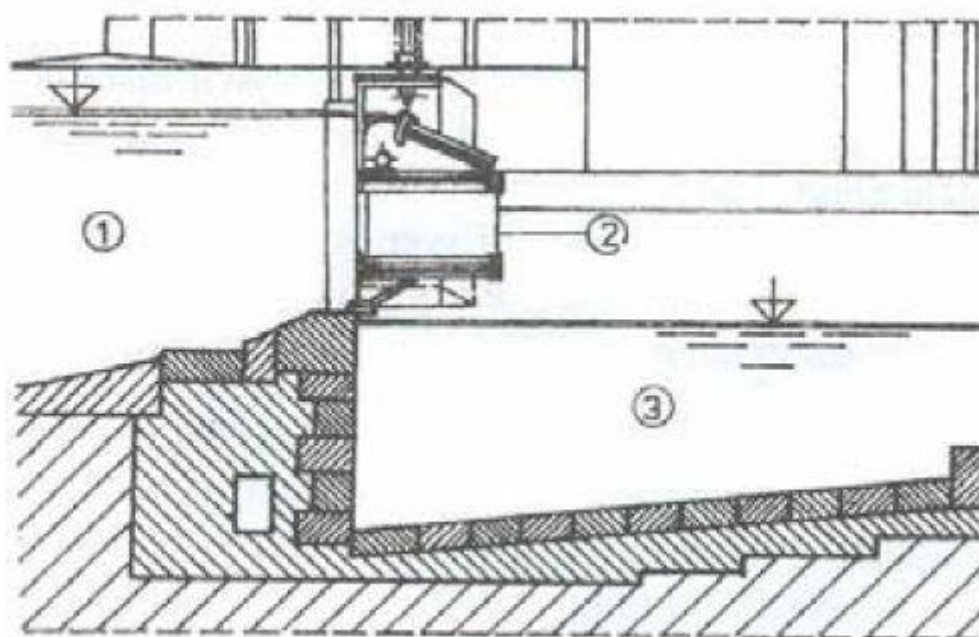
Vhodné jezové konstrukce budou popsány v následujících kapitolách. Výsledné řešení a jejich případné varianty, budou popsány v závěru práce.

4.2 STAVIDLOVÉ JEZY

Stavidlové jezy se nazývají podle hradící konstrukce, kterou tvoří stavidla. Nejjednodušším jezem může být i stavidlová stěna s opěrnými betonovými pilíři, hladina nad jezem se reguluje výtokem pod stavidlem i nad ním. Při větších vzdálenostech se použijí ocelové tabule vyztužené plnostěnnými nebo příhradovými nosníky. Tabule se v drážce pohybuje po válečcích, příp. podvozcích, ovládání je mechanické nebo strojní. Stavidlo může být vytahováno nad jezovou stavbu, ale i zasouváno. Jemnější regulaci hladiny umožní klapka na horní části stavidla. Pro větší výšky vzduť se používá někdy dvou i více stavidlových tabulí nad sebou, které se vzájemně překrývají. V současné době se pohybují rozměry tabulí dle průtočného profilu a výšky hladiny v rozmezí $\check{S} = 1,5$ až $5,5 \text{ m}$, $V = 0,4$ až $4,0 \text{ m}$ [15].

Zdvižná stavidla dosedají v uzavřené poloze svou dolní hranou (trámcem nebo břitem), opatřenou těsněním, na dosedací práh spodní stavby tělesa jezu (korunu přelivu) a při vyhrazení se zvedají, takže regulují hladinu horní vody výtokem. Dolní hrana úplně vytažených stavidel musí být nejméně 0,5 až 1 m nad max. hladinou horní vody (nad horním obrysem max. přepadového paprsku), aby pod ním mohli podplout ledové kry a těžké plovoucí předměty [16].

Pro daný typ řešeného problému se jeví tento typ pohyblivého jezu jako nejvhodnější. Vhodnější by byl stavidlový jez zdvižný, vzhledem k celkové menší velikosti spodní stavby jezu. Manipulace s těmito prvky je jednoduchá i při nouzové ruční manipulaci, konstrukce jezu není složitá ani náročná na prostor. Údržba a přístup ke stavidlům ve vyhrazené poloze je jednoduchá. Konstrukční uspořádání jezu zabraňuje vnikání nečistot unášených velkou vodou. Stavidla jsou odolná proti nárazům plovoucích předmětů. Teoreticky může dojít k zabránění zahrazení z důvodu vniknutí nečistot pod stavidlo. Pokud by se uvažovalo o stavidlovém jezu, tak jen o variantě zdvižné.

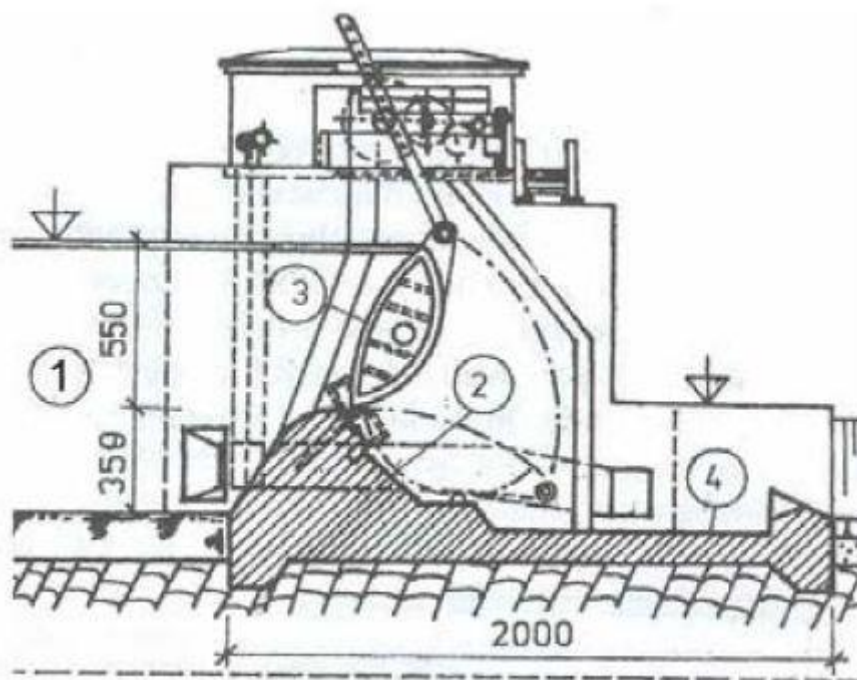


Obr. 10: Uspořádání stavidlového jezu 1- jezová zdrž, 2- tabule, 3- vývar [15]

4.3 KLAPKOVÉ JEZY

Klapkové jezy využívají jako hradící konstrukci ocelovou klapku s upevňovacím ložiskem ve spodní stavbě jezu. Klapku ovládá táhlo a příslušný strojní mechanismus. Klapka se sklápí do pouzdra ve spodní jezové stavbě [15].

Klapkový jez je oproti jezu stavidlovému náročnější na prostor. Manipulace s hradící konstrukcí je plynulá a spolehlivá. Konstrukce jezu nezajišťuje ochranu před plávmi, a proto by musely být před jez umístěny hrubé česle.



Obr. 11: Schéma klapkového jezu 1- jezová zdrž, 2- spodní stavba jezu, 3- klapka, 4- vývar [15]

4.4 SEGMENTOVÉ JEZY

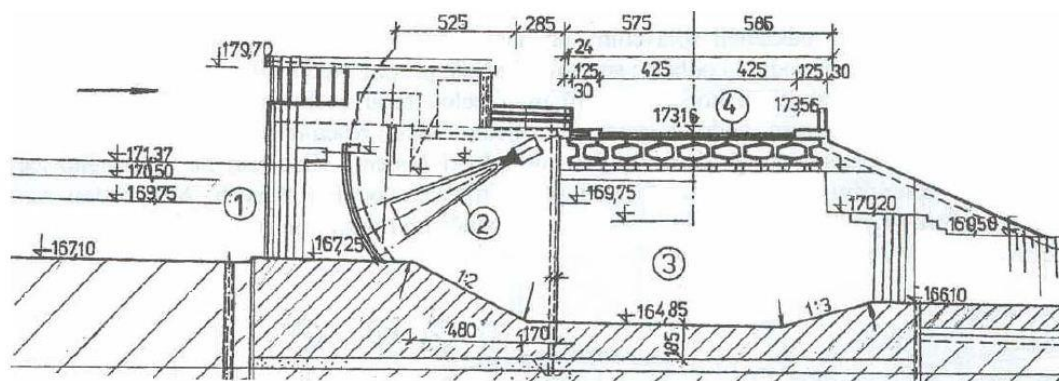
Segmentové jezy používají k zahrazení jezového pole ocelové segmenty. Segment se opírá o dvě ložiska osazená v pilířích jezové konstrukce a je ovládán mechanickým nebo hydraulickým ústrojím. Jemnou regulaci umožňuje klapka, umístěná v horní části segmentu [15].

Podle umístění čepů a způsobu namáhání ramen segment rozeznáváme segment s čepy umístěnými buď na vzdušné straně za hradicí stěnou, u nichž jsou ramena tlačena, nebo na návodní straně před hradicí stěnou, u nichž jsou ramena tažena. Všeobecně se dává přednost prvnímu řešení, i když jsou u něho ramena nevýhodněji namáhána na vzpěr, před řešením druhým, a to jak z důvodů hydraulických (proudění je nepříznivě ovlivňováno konzolami čepů, ramena a popřípadě i nosnou soustavou segmentu), tak i provozních (čepy a ramena segmentu, popřípadě i jeho nosná soustava, jsou trvale pod hladinou vzduté vody).

Poloměr zakřivení hradicí stěny segmentu, který je většinou totožný s délkou ramen (nebo u šikmých ramen s jejich průmětem do stěny pilíře), musí vyhovět současně dvěma podmínkám: jednak podmínce konstrukční (délka ramen musí umožňovat zdvih hradicího tělesa nad maximální hladinu, přičemž čep segmentu se obvykle umísťuje nad nejvyšší dolní hladinu), jednak podmínce statické (délka ramena musí být v určitém poměru k délce příčle rámu, a sice v takovém, aby se příčle svým statickým působením nepřiblížila prostému nosníku nebo naopak, aby u příliš

dlouhých ramen vzpěrná pevnost nepřevládala nad ohybovým momentem). Hradicí stěna segmentu se výjimečně navrhuje i rovinná [16].

Segmentový jez je pro řešení problém nejméně vhodný. Z konstrukčních důvodů ukotvení segmentů a jeho čepů je nutná mohutná stavba jezového tělesa a mohutný středový pilíř, což by zbytečně prodražovalo celkové náklady.

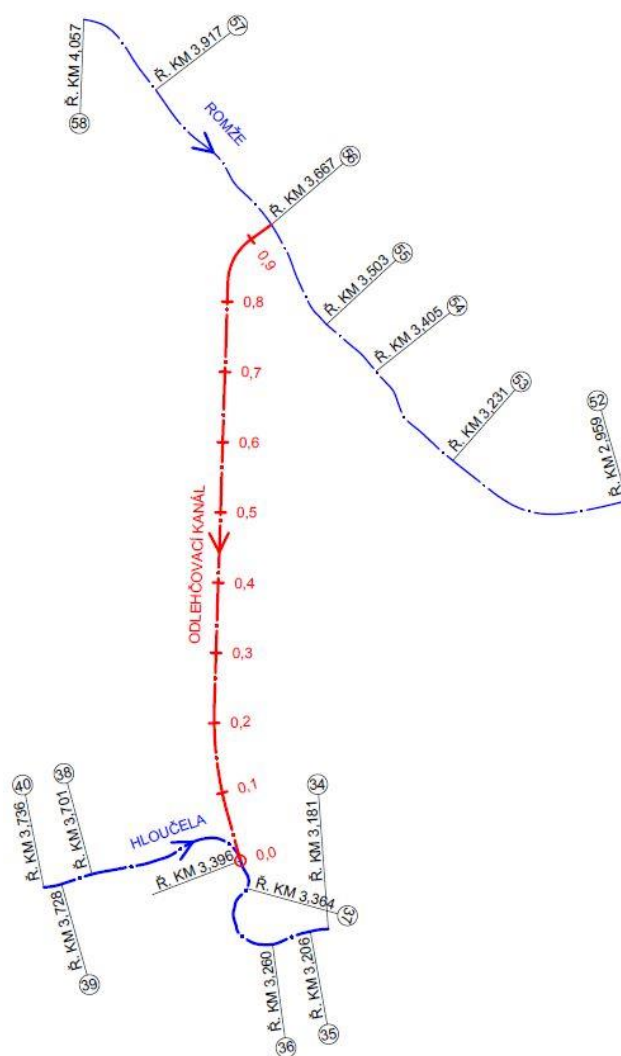


Obr. 12: Schéma segmentového jezu 1- jezová zadrž, 2- hradicí segment, 3- vývar, 4- mostovka [15]

5 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

5.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Výpočty průběhu hladin byly prováděny na tocích řek Romže, Hloučely a v navrženém odlehčovacím kanálu. Celková délka modelovaných toků v programu HEC-RAS je přibližně 2,57 km. Vodní toky Romže a Hloučely byly modelovány s využitím 14 zaměřených příčných profilů poskytnutých Povodím Moravy, s.p.



Obr. 13: Schéma modelu v programu HEC-RAS.

Postup provádění hydrotechnických výpočtů byl následující.

- Seznámení se s teorií bočního přelivu:
 - stanovení odlehčovaného průtoku,
 - výpočet přepadového součinitele.
- Program HEC-RAS:
 - seznámení s programem HEC-RAS,

- vytvoření geometrie modelu,
- okrajové podmínky pro výpočet,
- informace o možnostech výpočtu bočních přelivů v HEC-RAS,
- zpracování teorie výpočtů bočního přepadu dle HEC-RAS,
- zpracování teorie zadávání modelu boční konstrukce,
- zpracování teorie utlumení energie vody v HEC-RAS,
- výpočet průběhů hladin,
- výpočet bočního přelivu,
- kalibrace modelu podle ručních výpočtů,
- výpočet manipulace.
- Program Excel:
 - zpracování teorie pro jednotlivé autory výpočtu bočního přelivu, autoři: Bürgel, Pavlovskij, Engels, Musterle, Kunštátský, Hager a energetické řešení,
 - vytvoření výpočtových programů pro jednotlivé autory,
 - výpočty průběhu hladin,
 - výpočty bočního přelivu.
- Porovnání výsledků.
- Vyhodnocení výsledků.
- Aplikace výsledků výpočtů při návrh objektů a tvorbě výkresové dokumentace.

5.2 BOČNÍ PŘELIV

Boční přeliv představuje otvor umístěný v boční stěně koryta nebo kanálu, kterým přepadá voda. Jedná se o výtok vody otvorem ve stěně, jehož hrany mohou mít různý geometrický tvar. Přepadová výška h je výška od pevné přepadové hrany po nesníženou hladinu v korytě. Přepadová výška je menší než výška otvoru a otvor je nahoře otevřený. Rozlišujeme přepad dokonalý a nedokonalý. Dokonalý přepad je za předpokladu, že přepadající paprsek není ovlivněn dolní vodou. Nedokonalý přepad nastává, když je přepadající paprsek ovlivněn dolní vodou.

Na kapacitu přepadu má vliv tloušťka přepadového paprsku, šířka přelivu, výška přelivné hrany nad horním dnem, tlakové poměry pod přepadovým paprskem, půdorysné uspořádání přelivu, boční zúžení a poloha dolní vody. Na proudění má podstatný vliv i tvar a tloušťka přelivné stěny. Přelivná hrana je rovnoběžná s osou koryta nebo s ní svírá v půdorysu určitý úhel.

Boční přelivy jsou používány na oddělování části průtoku z koryt toků, dále se používají u odvodňovacích kanálů, dají se také nalézt i v kanalizačních sítích pro dešťové a splaškové vody.

Podél bočního přelivu vzniká složité prostorové proudění charakterizované dělením proudu mezi vlastní koryto a přeliv. Tento jev je podstatně ovlivněn charakterem proudění v hlavním korytě a probíhá jinak při proudění říčním než při proudění bystrinném. Hlavní tok i přepad se vzájemně ovlivňují ve své energetické bilanci. Je jasné, že hloubka podél přelivu bude kolísat, pokud nedojde ke zúžení koryta. Průtok nemůže být vypočítán jednoduchou rovnicí ve tvaru používaném pro kolmý přeliv.

Součástí všech metod výpočtu bočního přepadu je řešení přepadajícího množství Q pomocí známé rovnice přepadu

$$\frac{dQ}{dx} = m \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}} \quad (5.1:1)$$

kde h je přepadová výška, m je součinitel přepadu, jehož výpočet je podle jednotlivých autorů různý.

Metody řešení bočního přelivu se liší hlavně mírou zjednodušení řešené problematiky a budou rozebrány v následujících kapitolách [22].

5.2.1 Stanovení odlehčovaného průtoku

Odlehčovaný průtok Q_o na přelivu by měl odpovídat rozdílu mezi kontrolním průtokem Q_K , odvozeným například dle požadované míry ochrany vodních děl při povodni - viz *Tab. 12*, a návrhovým průtokem Q_N ve vodním toku stanoveným metodami rizikové analýzy nebo podle návrhového průtoku pro předběžné stanovení míry ochrany, viz *Tab. 13* [9].

$$Q_o = Q_K - Q_N \quad (5.2:1)$$

Tab. 12: Požadovaná míra ochrany vodních děl při povodni [9]

Skupina vodních děl	Označení výše škody	Kategorie vodního díla	Hodnotící hlediska	Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla	
				P= 1/N	N
A	Velmi vysoké	I. - II.	Očekávají se značné ztráty na lidských životech	0,0001	10 000
		II.	Ztráty na lidských životech jsou nepravděpodobné	0,0005	2 000
B	Vysoké	III. - IV.	Očekávají se ztráty na jednotlivých lidských životech	0,001	1 000
			Ztráty na lidských životech jsou nepravděpodobné	0,005	200
C	Nízké	IV.	Škody pod vodním dílem a ztráty užítu	0,01	100
			Ztráty jsou jen u vlastníka, ostatní škody jsou nevýznamné.	0,02 až 0,05	50 až 20

Tab. 13: Návrhové průtoky pro předběžné stanovení míry ochrany [9]

Druh přilehlých pozemků	Návrhový průtok
Historická zástavba	$\geq Q_{100}$
Veřejné komunikace	dle významu Q_{20} až Q_{100}
Souvislá zástavba, významné průmyslové areály	Q_{100}
Větší sídliště, výrobní objekty	Q_{50} až Q_{100}
Ménší sídliště	Q_{20} až Q_{50}
Účelové komunikace	Q_{10} až Q_{50}
Sady, zahrady, chmelnice	Q_{10}
Orná půda	Q_5
Louky, lesy, pastviny	Q_{30d} až Q_1

5.2.2 Výpočet přepadového součinitele

Přepadový součinitel m jezů s obdélníkovou přelivnou hranou závisí na poměru tloušťky tělesa t k výšce přepadajícího paprsku h . Zaoblení vstupní hrany zvětšuje přepadový součinitel m zhruba o 5%. Při tloušťce tělesa $t < 0,67h$ se jedná o ostrohranný přeliv a při tloušťce tělesa $t > 3h$ nastává přechod k přepadu přes širokou korunu.

Tab. 14: Přepadový součinitel obdélníkového jezu [23]

t/h	1:2	2:3	1	2	3
m	0,42	0,41	0,37	0,33	0,32
M	1,86	1,82	1,64	1,46	1,42

Tato tělesa jsou sice stavebně jednoduchá, ale hydraulicky nevýhodná (nízký přepadový součinitel). Dále prostor pod přepadajícím paprskem nebývá v praxi zavzdušněn (na rozdíl od měrných přelivů), voda z něho vysává vzduch a vzniká podtlak, který sice poněkud zvětšuje průtočnost, ale způsobuje nepříznivé účinky [23].

5.3 PROGRAM HEC-RAS 4.1.0

Vývoj a dokumentace programu HEC-RAS, jehož autory jsou Gary W. Brunner a pracovní skupina CEIWER-HEC, je financován ze zdrojů americké federální vlády. Díky tomu je tento program volně šiřitelný, kopírovatelný a distribuovatelný.

HEC-RAS je program umožňující jednodimenzionální výpočty. S jeho pomocí je možné řešit ustálené a neustálené proudění, transport sedimentů a analýzu kvality vody. První verze programu byla vydána v červenci 1995. Nejaktuálnější verze je HEC-RAS 4.1 z ledna roku 2010.

HEC-RAS je konstruován pro výpočty na přírodních i umělých kanálech. Program zvládá výpočty na jednotlivých tocích i na říčních systémech. Je možné modelovat říční, kritické i smíšené proudění. Základní výpočet průběhu hladin je založen na výpočtu pomocí metody po úsecích. Energetické ztráty jsou vyjadřovány pomocí ztrát třením za pomoci Manningovi rovnice. Do geometrie je možné zadat i různé objekty na toku jako mosty, lávky, propustky, soutoky, jezy a mnoho dalších. Objekty jsou do výpočtu zahrnuty a jejich účinek se projeví do výsledných hodnot [8].

5.3.1 Okrajové podmínky

Jako okrajové podmínky pro výpočet hladin v programu HEC-RAS byly použity známé hodnoty nadmořských výšek hladin pro jednotlivé průtoky, ve spodních profilech toků. Okrajové podmínky byly převzaty z podkladů poskytnutých Povodím Moravy, s.p.

Tab. 15: Okrajové podmínky

Úroveň hladiny v profilech [m n. m.]						
N- letost průtoky	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Romže PF 52	217.78	218.53	218.84	219.14	219.44	219.64
Hloučela PF 34	219.49	219.7	220.11	220.29	220.88	221.20

5.3.2 Určení drsnostních součinitelů dle Manninga

Součinitel drsnosti n byl spočítán pomocí vztahu dle Stricklera. Efektivní zrno pro dno bylo určeno při osobní prohlídce lokality. Velikost efektivního zrna byla stanovena 0,12 m [23].

$$n = \frac{d_e^{1/6}}{21,1} \quad (5.3.2:1)$$

kde: d_e efektivní zrno.

Součinitel drsnosti dna n byl stanoven na hodnotu 0,033.

Součinitel drsnosti břehů byl určen na základě osobní prohlídky řešené lokality. Drsnost břehů byla zvolena podle Manninga. Výsledné drsnosti jsou voleny podle manuálu pro program HEC-RAS.

- tráva neudržovaná, hustý podrost 0,050
- husté keřové patro a podrost 0,100

5.3.3 HEC-RAS – boční konstrukce

Program HEC-RAS umožňuje modelování bočních objektů na toku. Mezi tyto objekty lze počítat: boční jezy, boční přelivy a propustky. Při modelování lze použít kombinaci až čtyř různých typů bočních struktur.

Při modelování boční konstrukce je potřeba vždy mít jeden profil pod a jeden nad boční konstrukcí. Další libovolný počet průřezů lze umístit do středu konstrukce.

Standardní jezová rovnice předpokládá, že přelivná hrana jezové konstrukce je rovnoběžná s hladinou vody, tzn. hladina vody je konstantní od jednoho konce jezového segmentu k druhému. Následující rovnice jsou upraveny pro svažité jezy u povrchových vod za pomoci upravené rovnice přepadu.

$$\begin{aligned} dQ &= C(y_{ws} - y_w)^{3/2} dx \\ dQ &= C(a_{ws}x + C_{ws} - a_w x - C_w)^{3/2} dx \\ dQ &= C((a_{ws} - a_w)x + C_{ws} - C_w)^{3/2} dx \end{aligned} \quad (5.3.3:1)$$

Předpokládáme, že:

$$a_1 = a_{ws} - a_w; \quad C_1 = C_{ws} - C_w \quad (5.3.3:2)$$

Pak můžeme psát:

$$\begin{aligned} \int_{x_1}^{x_2} dQ &= C \int_{x_1}^{x_2} (a_1 x + C_1)^{3/2} dx = \left[\frac{2C}{5a_1} (a_1 x + C_1)^{5/2} \right]_{x_1}^{x_2} \\ Q_{x_1-x_2} &= \frac{2C}{5a_1} ((a_1 x_2 + C_1)^{5/2} - (a_1 x_1 + C_1)^{5/2}) \end{aligned} \quad (5.3.3:3)$$

Tyto rovnice jsou platné pro případ, že a_I není nulové. V případě, že $a_I = 0$, to znamená, že hladina je rovnoběžná s korunou přelivu, platí původní rovnice přepadu přes jezovou stavbu:

$$Q = CLH^{3/2} \quad (5.3.3:4)$$

kde: C..... součinitel přepadu přes jez, hodnoty 2,6 až 4,0,

L..... délka přelivné hrany,

H energetická výška před přelivem.

Program HEC-RAS je schopen počítat boční přeliv z hodnot energetické výšky nebo za pomoci polohy hladiny. Standardní rovnice přepadu přes jezovou konstrukci je počítána za pomoci energetické výšky. Boční přeliv je primárně počítán za pomoci polohy hladiny vody v korytě. Uživatel má možnost počítat boční přeliv i za pomoci použití energetických výšek. Použití výpočtu za pomoci hladiny vody v kanálu je nejvhodnější, pokud se jezová konstrukce nachází v blízkosti hlavního kanálu. V této situaci se uvažuje energie vzniklá od rychlosti ve směru po proudu a nikoliv v horní části bočního přepadu. Proto je výpočet energetické výšky nad bočním přelivem nejvhodněji znázorněn pomocí hloubky vody v kanálu [12].

5.3.4 Hagerova rovnice bočního přepadu

HEC-RAS má možnost počítat za pomoci Hagerovi rovnice pro boční přepad. Rovnice je stejná jako standardní rovnice pro přepad přes jez, mimo přepadového součinitele přes jez, který se vypočítává automaticky na základě fyzikálních a hydraulických vlastností. Hagerova rovnice koeficient bočního přepadu je [12]:

$$C = \frac{3}{5} C_0 \sqrt{g} \left[\frac{1-W}{3-2y-W} \right]^{0.5} \{ 1 - (\beta + S_0) \left[\frac{3(1-y)}{y-W} \right]^{0.5} \} \quad (5.3.4:1)$$

kde:

$$W = \frac{h_w}{H_t + h_w}; y = \frac{H + h_w}{H_t + H_w}; C_0 = \text{funkce tvaru přelivu} \quad (5.3.4:2)$$

H hloubka vody nad jezem,

h_w výška jezu nad zemí,

H_t energetická výška nad jezem,

S_0 průměrný sklon dna hlavního kanálu,

β hlavní úhel kontrakce kanálu v radiánech (nula v případě, že jez je rovnoběžný s hlavním kanálem),

C_0 základní součinitel výtoky $C_0 = 1.0$ až $8/7$

Pro přeliv se širokou korunou platí:

$$C_0 = 1 - \frac{2}{9[1 + (\frac{H_t}{b})^4]} \quad (5.3.4:3)$$

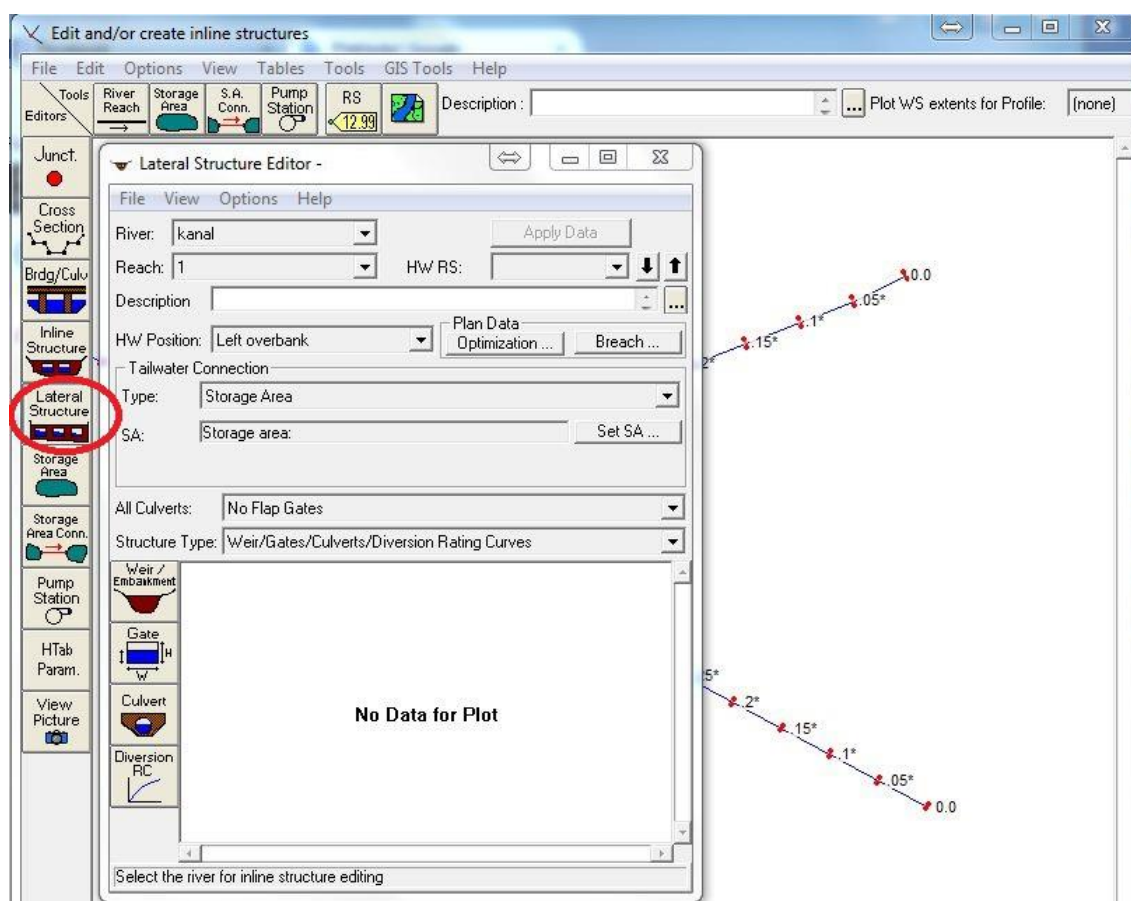
a pro přeliv s kruhovou nebo zaoblenou přelivnou plochou platí [12]:

$$C_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \left[1 + \frac{\frac{22}{81} \left(\frac{H_t}{r} \right)^2}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{H_t}{r} \right)^2} \right] \quad (5.3.4:4)$$

5.3.5 Modelování bočního přelivu v programu HEC-RAS

V následujících odstavcích bude vysvětleno zadávání bočního jezu do geometrie vytvořené v programu HEC-RAS. Popis postupu bude zaměřen pouze na zadávání bočního jezu, jelikož při tvorbě modelů to není příliš častý jev.

Pro začátek zadávání bočního jezu je třeba v okně geometrie stisknout tlačítko *Lateral Structure*. Po stisknutí tohoto tlačítka se objeví okno *Lateral Structure Editor*. Při prvním spuštění bude toto okno prázdné. Pro zadání bočního jezu je nutné provést následující kroky [8].



Obr. 14: Okno zadávání bočních konstrukcí [8]

Nejprve je třeba vybrat řeku a její část, do které chceme boční konstrukci vložit. Toho dosáhneme tak, že vybereme řeku, do které boční konstrukci vkládáme a posléze zvolíme její odpovídající část. Výběrová tlačítka pro tyto operace *River* a *Reach* jsou v horní části okna editoru.

Vložení boční konstrukce provedeme tak, že zvolíme menu *Options* v horní části obrazovky a z nabídky vybereme *Add a Lateral Structure*. Objeví se okno s dotazem, kam chceme boční konstrukci umístit, tedy v jakém říčním kilometru na zvolené řece se bude nacházet. Námi vložený říční kilometr reprezentuje umístění horního konce boční konstrukce. Říční kilometr musí být unikátní a musí být zvolen tak, aby vždy existoval nějaký profil proti proudu a po proudu od boční konstrukce. Po zadání říčního kilometru a stisknutí tlačítka *OK* se v okně vykreslí podélný profil koryta toku.

Zadáme všechna data pro boční jez, hrazené přelivy a propustky. V případě, že nezádáme hrazené přelivy nebo propustky, program předpokládá, že se jedná pouze o boční jez.

Pole **Description** slouží k podrobnějšímu popisu konstrukce. Tento box má limit 256 znaků. Zobrazuje se pouze první řádek informací. Prvních 40 znaků popisu je také využíváno jako štítek tabulek bočních konstrukcí. [8]

HW Position se používá pro definici umístění boční konstrukce ve vybraném prostoru. Uživatel si může vybrat jednu z následujících možností: *Left overbank*, *Next to left bank station*, *Next to right bank station* a *Right overbank*. Při volbě *Left overbank* program předpokládá, že bude umístěn na levém konci profilu při pohledu ve směru proudění. Při volbě *Next to left bank station* je předpoklad, že se nachází na levém okraji hlavního kanálu. Při volbě *Next to right bank station* program předpokládá, že se nachází na pravém okraji hlavního kanálu. A při volbě *Right overbank* je uvažováno, že se nachází na pravém konci profilu při pohledu po proudu.

Oblast editoru **Tailwater Connection** definuje, co se stane s průtokem po překročení boční konstrukce. Průtok může odcházet z koryta třemi způsoby, a to do boční nádrže, do kanálu nebo řeky anebo pryč ze systému. Pokud chceme nastavit propojení, nejprve vybereme typ propojení z oblasti označené jako *Type*. V závislosti na typu propojení potom mohou být požadovány další informace. Pro možnost *Out of the System* již nejsou požadovány další informace. Pokud je vybrána volba *Storage Area*, je nutné vybrat boční nádrž, do které se bude voda ukládat z již vytvořených nádrží. Pokud je vybrána možnost *Cross section of a river*, je uživatel povinen vybrat řeku a průřezy, do kterých bude boční konstrukce propojena. Spojení může být provedeno do jednoho průřezu (všechny průtoky směřují k jednomu bodu) nebo může být nastaveno na celé řadě průřezů (průtok bude distribuován v celém rozsahu průřezů). Kromě průřezu musí uživatel definovat, jakým způsobem je odpadní tok připojen.

Pole **Structure Type** se používá pro volbu typu vedení, které bude použita pro danou konstrukci. Existují dvě možnosti volby. První *Weir/Gates/Culverts/Diversion Rating Curves* je přednastavená, druhou volbou je *Linear Routing*. Pokud je zvolena výchozí hodnota program provede podrobný hydraulický výpočet přepadu přes boční konstrukci. Druhá volba se realizuje prostřednictvím zjednodušeného postupu, ve kterém uživatel zvolí koeficient lineárního přepadu. Tento součinitel

se může pohybovat v rozmezí od 0,0 až 1,0, přičemž hodnota 1,0 představuje maximální průtok a hodnota 0,0 znamená zahrazený přeliv. Metoda lineárního vedení je velmi užitečná, pokud má uživatel velký počet bočních konstrukcí napojených do bočních nádrží a podrobný výpočet není nutný. Tento výpočet je také mnohem rychlejší a stabilnější. Typické hodnoty koeficientu jsou v rozmezí od 0,05 do 0,2. Nicméně tyto hodnoty je třeba kalibrovat.

Culvert Flap Gates, rozbalovací nabídka přímo nad typem vedení umožňuje volbu hrazení na propustku. Tato možnost se týká pouze protékané stoky, ne jezu. Možnosti volby jsou *no flap gates* (základní), *Flaps prevent negative flow* a *flaps prevent positive flow*. *No flap gates* znamená, že stoka není osazena zpětnou klapkou. To znamená, že průtok může procházet oběma směry v propustku. *Flaps prevent negative flow* udává, že v úvahu je brán směr proudění od toku na boční konstrukci, který neumožňuje zpětné proudění. *Flaps prevent positive flow* udává, že voda proudí směrem pouze do hlavního toku. [8]

Optimization - možnost optimalizace se volí pouze při modelování ustáleného průtoku. Při modelování v režimu ustáleného proudění může software zjistit, jaký průtok opustí tok skrze boční přeliv a jaký průtok zůstane v toku. Tento výpočet však vyžaduje iterativní řešení. Stisknutím tlačítka *Optimization* se vyvolá editor, který umožňuje uživateli spustit možnost optimalizace. Pokud není optimalizace zapnutá, program předpokládá, že veškerá voda v korytě stále pokračuje po proudu toku, i když počítá to, co by přepadalo přes přeliv na základě výpočtu hladiny. Pokud je optimalizace zapnuta, program vypočítává průtok přes boční konstrukci, snižuje průtok v hlavní řece a potom přepočítá profily v řece.

Tlačítko **Breach** umožňuje zadání informací pro vyhodnocení porušení boční konstrukce. Tato možnost je určena pouze pro modelování nestacionárního proudění.

Weir/Embankment Editor slouží k zadávání popisu hráze, kde bude umístěn přepad nebo pevný jez. Pro aktivaci editoru je potřeba stisknout tlačítko *Weir/Embankment*. Tento editor je velmi podobný jako editor sloužící k zadávání mostů a propustků [8].

	Station	Elevation
1	0.	207.
2	0.	204.5
3	10.	204.5
4	10.	207.
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		

	RS	Weir Sta
	.58125*	-5
1	.5775*	
2	.57375*	
3	.57*	
4	.56625*	
5	.5625	
6	.55	
7	.5*	
8	.45*	
9	.4*	
10	.35*	
11	.3*	
12	.25*	
13	.2*	
14	.15*	
15	.1*	
16	.05*	
17	0.0	
18		
19		

Obr. 15: Okno zadávání geometrie [8]

Do pole **Weir Width** zadáme šířku horní části konstrukce. Tato hodnota se používá pouze pro vykreslování grafiky a nemá žádný vliv na výpočet. Šířka se zadává ve stopách, případně v metrech, pokud je používán metrický systém.

Weir Computations umožňuje uživateli zvolit metodu výpočtu, standardní rovnici přepadu, anebo výpočet dle Hagera. Je-li zvolena standardní jezová rovnice, je potřeba také zadat hladinu v toku před jezem a přepadový součinitel jezu. Pokud je vybrána možnost výpočtu dle Hagera, musí uživatel dodat hodnoty standardního koeficientu jezu, průměrnou výšku jezu, průměrný sklon dna toku a úhel odklonu jezu od osy hlavního jezu ve stupních, je-li umístěn jinak, než rovnoběžně s proudem.

Prostřednictvím **Weir flow reference** určíme, zda se proudění na jezu vypočítá pomocí energetického gradientu nebo z hloubky vody v průřezu. Jako výchozí je použit energetický gradient. [8]

Weir Coefficient Cd je koeficient, který bude sloužit pro proudění přes hrázový jez ve standardní jezové rovnici $Cd = m * \sqrt{2g}$.

Další variantou je **Weir Crest Shape**. Pokud dojde k nedokonalému přepadu, existují dvě možnosti, jak zjistit, o kolik by měl být snížen koeficient přepadu. Tato dvě kritéria jsou založena na tvaru přelivné koruny. První metoda je založena na práci, která byla provedena na jezu se širokou korunou, který měl lichoběžníkový průřez. Druhé kritérium bylo pro jezy s proudnicovou přelivnou plochou. Uživatel by měl zhodnotit kritéria tak, aby nejlépe odpovídala konkrétnímu problému, který je řešen. Pokud je vybrána volba proudnicového přelivu, je zapotřebí zadat některé další informace.

Je třeba zadat *Spillway Approach Height*, což je přibližná výška přelivu a *Design Energy Head*, tedy návrh energetické výšky. Výška přelivu je totožná s výškou přelivné hrany mínus střední výška země těsně v profilu nad přelivem. Návrh energetické výšky je roven energetické výšce na toku mínus výška přelivné hrany. Kromě těchto dvou parametrů má uživatel možnost, aby program sám vypočítal koeficient přepadu. To se provádí stisknutím tlačítka *CD*. Po stisknutí tlačítka si program spočítá koeficient na základě výšky proudnicového přelivu. Při výpočtu se bude tento koeficient měnit na základě skutečné přepadové výšky.

Do pole ***HW Distance to Upstream XS*** zadáváme vzdálenost mezi horním koncem jezu a horním profilem nad jezem. Vzdálenost se zadává ve stopách, případně v metrech pokud je používán metrický systém.

Pokud je voda z přepadu odváděna do řeky nebo kanálu, musí být aktivní pole ***TW Flow Goes***. Průtok může být nastaven do jednoho bodu nebo může být nastaven do více průřezů.

TW Distance to Upstream Cross Section - stejně jako u předchozího musí být toto pole aktivní, pokud je voda přepouštěna do jiného koryta nebo kanálu. Zde se zadává vzdálenost mezi průřezem a aktuálním umístěním, kde začíná napojení přelivu. Základní hodnota je 0, což znamená, že přeliv začíná na zvoleném průřezu a pokračuje ve směru po proudu.

Weir Station and Elevation - tabulka slouží k zadání vlastní geometrie jezu a okolí. Zadávání probíhá obdobně jako u příčných profilů, zadává se souřadnice bodu a k ní odpovídající nadmořská výška [8].

Tabulka ***Weir Stationing at HW XS's*** zobrazuje propojení přelivu s řekou nebo kanálem na něj napojeném. V základním nastavení propojuje program přeliv s kanálem automaticky. Pokud s výsledkem uživatel nesouhlasí, může zvolit možnost definování vlastních průřezů jezu s příčnými profily v odpadním kanálu.

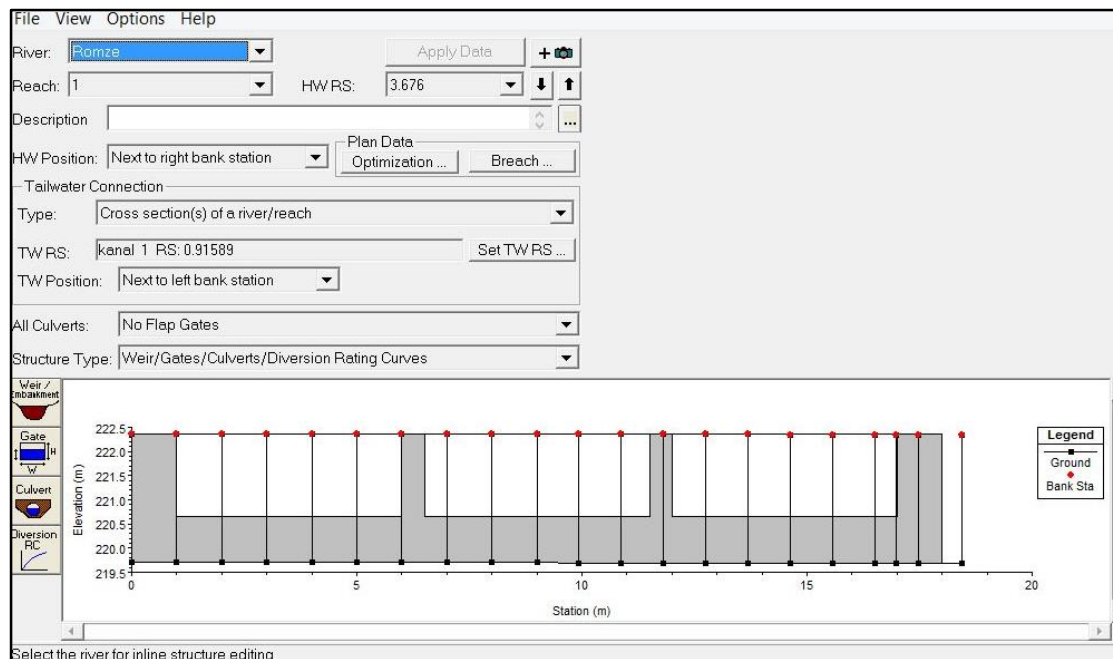
Pokud je jako typ výpočtu zvolena Hagerova rovnice pro boční přepad, objeví se následující doplňková pole. ***Default Weir Coefficient (Cd)*** koeficient bude použit pro první iteraci ve výpočtu přepadu dle Hagera. Rovnice je iterativní a vyžaduje hydraulické výsledky, aby byl spočítán jezový koeficient. Výchozí jezový koeficient se používá pro první odhad v hydraulických výpočtech. Pole ***Weir Average Height*** se používá pro zadání průměrné výšky přelivné hrany nad zemí.

Average Bed Slope (Optional) se používá pro zadání průměrného sklonu dna v odpadním kanálu pod bočním přelivem. Pokud není pole vyplněno, program průměrný sklon vypočítá sám.

Weir Angle in Degrees (Optional) se používá pro určení odklonu přelivu od osy hlavního toku. Pokud je přeliv rovnoběžný s osou toku, tak se předpokládá nulový úhel.

Jakmile jsou všechna data zadána, stiskneme tlačítko *Apply Data*, aby byla data vložena do modelu. Všechny změny se automaticky vykreslí do okna editoru. Pokud

byly zadány nějaké hrazené přelivy, musíme v nabídce *Steady or Unsteady Flow Data Editor* nastavit manipulaci pro jednotlivé případy, které mohou na toku nastat [8].



Obr. 16: Výsledný model rozdělovacího objektu

5.3.6 Skluz a vývar

Skluz a vývar mohou být modelovány pomocí volby výpočtu bočního jezu, nebo jako řada průřezů. Pokud je cílem výpočtu pouze hloubka vody v profilu před konstrukcí a v profilu za konstrukcí, pak je nejvhodnější výpočet pomocí bočního přepadu. Pro přesnější výsledky je ale potřeba vložit více profilů do prostoru před a za konstrukcí.

Při modelování konstrukce je důležité vhodné umístění profilů před a za konstrukcí. Důležitý je počet profilů i vzdálenosti mezi jednotlivými profily. Nejdůležitější je hustota a umístění profilů těsně před a za místem s poklesem hladiny, tedy v místech, kde se rychle mění hloubka vody a rychlost proudění. Pokud může dojít k přechodu mezi podkritickým a nadkritickým prouděním, je dobré přidat další průřezy k vytvoření přesného modelu. Několik průřezů by se mělo umístit i do vývaru z důvodu zjištění přesného umístění vodního skoku. Hodnota Manningova součinitele drsnosti ve vývaru by měla být zvýšena, aby došlo k utlumení energie.

Pro vyhodnocení správnosti výpočtu uklidňovací konstrukce, byla provedena studie modelu a studie modelu pomocí programu HEC-RAS. Studie byla provedena na toku Svatá Anna v Oregonu v Kalifornii. Bylo testováno více než 50 různých návrhů modelů v měřítku 1:25 a 1:40. Návrhy hodnotili již existující konstrukce, jejich možnou úpravu a jejich úplné nahrazení novou konstrukcí. Výsledky výpočtu v programu HEC-RAS byly porovnány s výsledky modelového výzkumu. Výsledky ukazují,

že model použitý pro výpočet dokáže adekvátně vypočítat hladiny v profilech před a za přelivnou plochou. Některé rozdíly se vyskytují přímo na vrcholu přelivné hrany, a to z důvodu vodního skoku. Energetická rovnice vždy určí průtok o kritické hloubce v horní části přelivné plochy. Bylo prokázáno, že průtok o kritické hloubce vzniká ve vzdálenosti 3. až 4. násobku hloubky kritické proti proudu od přelivné hrany. Nicméně program HEC-RAS v krátké vzdálenosti proti proudu konverguje ke stejné hloubce vody, která byla pozorována na fyzikálním modelu.

Obecně platí, že model programu HEC-RAS nedokáže předpovědět, jak bude probíhat vodní skok, ale dokáže předpovědět, kde vodní skok začne. Vodní skok je vždy určen v prostoru mezi dvěma profily [12].

5.4 HYDRAULICKÝ NÁVRH BOČNÍHO PŘELIVU

Hydraulické výpočty v následující kapitole byly zpracovávány ručním výpočtem v programu Excel. Celkem byl počítán boční přeliv ručně podle 7 autorů.

5.4.1 Přepad přes boční přeliv – modelový výzkum - Bürgel

Hydraulické stanovení bočního přelivu zahrnuje stanovení délky přelivné hrany, výšky přepadového paprsku a specifického přepadového množství.

Délka přelivné hrany a přepadová výška se stanoví technicko-ekonomickým rozbohem. Pro prvotní návrh lze použít zjednodušeného vztahu 5.4.1:1 pro přepad přes boční přeliv. Rovnice je odvozena pro menší délky přelivu na základě hydraulického modelového výzkumu [9].

$$Q_o = \lambda * m * L * \sqrt{2 * g * h_p^3} \quad (5.4.1:1)$$

kde: λ je součinitel šikmého nátoku,

m přepadový součinitel,

h_p přepadová výška uvažovaná jako střední rozdíl hladiny v toku a koruny přelivu,

L aktivní délka přelivu.

Pro kratší přelivné hrany se doporučuje zohlednit kontrakce a odchylku od obdélníkového tvaru.

Pokud se jedná o dlouhou přelivnou hranu, je nutné brát v potaz ubývajících průtok po délce, dopočítá se průběh hladin v toku iteračním postupem pomocí metody po úsecích. Specifický průtok q_o přepadající přes přelivnou hranu se počítá ze vztahu [9]:

$$q_o = \lambda * m * \sqrt{2 * g * h_p^3} \quad (5.4.1:2)$$

5.4.2 Přepad přes boční přeliv – Pavlovskij

$$Q_b = \frac{2}{3} \sigma_b * \mu_p * l * \sqrt{2 * g} * h_2^{3/2} \quad (5.4.2:1)$$

Kde: $\sigma_b = \left(\frac{h_2}{l}\right)^{1/6}$ pro $\vartheta = 0^\circ$,

$\sigma_b = \left(\frac{h_2}{l}\right)^{1/10}$ pro $\vartheta = (2^\circ \text{ až } 20^\circ)$,

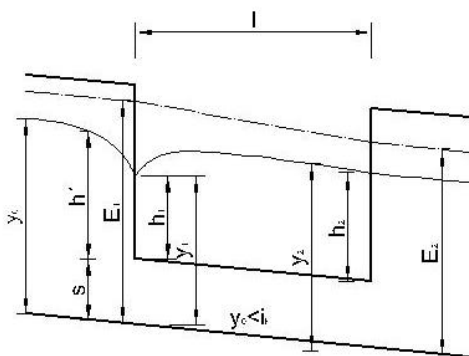
ϑodklon přepadové hrany od osy toku,

μ_ppřepadový součinitel závislý na tvaru přepadové hrany [10].

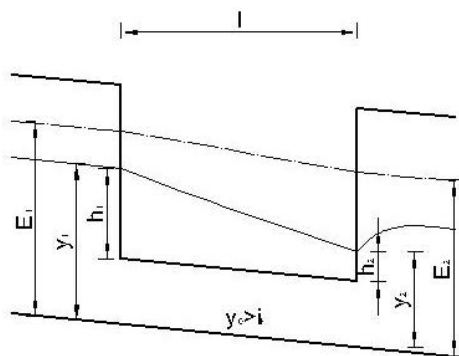
5.4.3 Přepad přes boční přeliv – Engels

Pro orientační výpočet je možné použít i vztahy podle Engelse, pro přepadovou hranu, která je rovnoběžná s osou koryta toku platí:

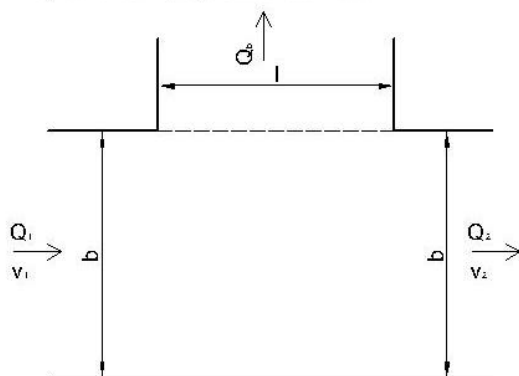
a) říční proudění



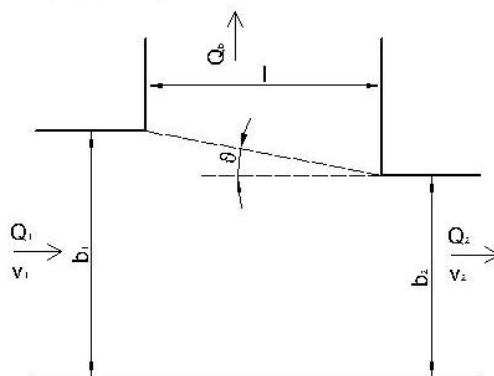
b) bystřinné proudění



c) rovnoběžný s prouděním v toku



d) zešíklý



Obr. 17: Schéma pro výpočet dle Engelse [10]

$$Q_b = m_b * \sqrt{2g} * \sqrt[3]{l^{2,5} * h_2^5} \quad (5.4.3:1)$$

Pro přepadovou hranu, která svírá s osou toku úhel 15° platí:

$$Q_b = m_b * \sqrt{2g} * \sqrt[3]{l^{2,7} * h_2^{4,8}} \quad (5.4.3:2)$$

Příčemž přepadový součinitel m_b má hodnoty:

ostrá hrana	$m_b = 0,49,$
kruhová zaoblená koruna	$m_b = 0,57,$
obdélníkový průřez	$m_b = 0,44,$
lichoběžníkový průřez	$m_b = 0,42.$ [10]

5.4.4 Přepad přes boční přeliv – Musterle

Tato metoda je v praxi občas používána. Nahrazuje křivkové stoupání hladiny nad bočním přepadem přímkou.

$$Q_b = m_b * l * \sqrt{2g} * h_s^{3/2} \quad (5.4.4:1)$$

Kde: $h_s = \frac{h_1 + h_2}{2}$

$$m_b = 0,63\mu_p,$$

μ_p je přepadový součinitel pro čelní přepad.

Energie průřezu před bočním přelivem a za ním vyhovuje rovnici

$$E_1 = E_2 + (i_t - t_0)l + \frac{Q_b * v_s}{2g * S_s} \quad (5.4.4:2)$$

Kde sklon vyvolaná ztrátou třením je

$$i_t = \frac{v^2}{C_s^2 * R_s} \quad (5.4.4:3)$$

příčemž

$$v_s = \frac{v_1 + v_2}{2}; v_1 = \frac{Q_1}{S_1}; v_2 = \frac{Q_2}{S_2}. [10] \quad (5.4.4:4)$$

5.4.5 Přepad přes boční přeliv – Kunštátský

Podrobnou metodu výpočtu bočního přepadu uvádí Kunštátský. Výsledné hodnoty přepadového průtoku a délky přepadové hrany získává sumací.

$$Q_b = \sum \Delta Q_{bi}; l = \sum \Delta x_i \quad (5.4.5:1)$$

$$M_b = 1 - 0,08 * \frac{v}{w} * \frac{h_d}{s} \quad (5.4.5:8)$$

Opakovaným výpočtem zpřesníme hodnoty ze vztahů 5.4.5:3 až 5.4.5:8 až na požadovanou přesnost a počítáme dále:

Ztráta třením na úseku Δx

$$\Delta Z_1 = \frac{v^2}{C_d^2 * R_d} * \Delta x \quad (5.4.5:9)$$

Součinitel ztráty při bočním zúžení

$$\eta^2 = 0,55 \left(\frac{v}{w} \right) \quad (5.4.5:10)$$

Ztráta, která vznikne vlivem setrvačnosti vody přepadající na úseku Δx přes boční přeliv

$$\Delta Z_2 = \eta^2 \frac{v^2}{2g} * \frac{\Delta Q_b}{Q} \quad (5.4.5:11)$$

Celková ztráta na úseku Δx

$$\Delta Z = \Delta Z_1 + \Delta Z_2 \quad (5.4.5:12)$$

Změna energie v průřezu

$$\Delta E = \Delta Z - i_0 * \Delta x \quad (5.4.5:13)$$

Energie v horní části úseku

$$E_h = E_d + \Delta E \quad (5.4.5:14)$$

Průtok v korytě na začátku úseku

$$Q_h = Q_d + \Delta Q_b \quad (5.4.5:15)$$

Hloubka a rychlost na začátku úseku

$$E_h = y_h + \frac{\alpha * Q_h^2}{2g * S_h^2} \quad (5.4.5:16)$$

$$S_h = f(y_h) \quad (5.4.5:17)$$

$$h_h = y_h - s \quad (5.4.5:18)$$

Po určení v_h a h_h přejdeme na další úsek, kde se tyto hodnoty změní na v_d a h_d a celý výpočet opakujeme pro další úsek. Takto postupujeme pro další úseky [10].

5.4.6 Přepad přes boční přeliv – Hager

Výpočet vychází z upravené rovnice pro přepad přes přelivnou hranu kolmou na osu proudění, do které je přidán opravný součinitel bočního přepadu m_s

$$q = m_s \sqrt{2g} (E - s)^{3/2} \quad (5.4.6:1)$$

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad (5.4.6:2)$$

$$m_s = m * c \quad (5.4.6:3)$$

kde: s výška přelivu,
 E energetická výška průřezu
 m součinitel čelního přepadu
 c tvarový součinitel.

Pro určení tvarového součinitele je potřeba znát koeficient χ , který se vypočítá jako:

$$\chi = \frac{E-s}{E} \quad (5.4.6:4)$$

Pro ostrohranný přeliv platí:

$$m_s = m(1 + \left(\frac{\chi^3}{7}\right)) \quad (5.4.6:5)$$

Pro obdélníkový přeliv o tloušťce přelivu t :

$$c = 1 - \frac{2}{9(1+\xi_b^4)}; \xi_b = \frac{E-s}{t} \quad (5.4.6:6)$$

pro kruhově zaoblenou korunu přelivu

$$c = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(1 + \frac{\frac{22}{81}\xi_r^2}{1 + \frac{1}{2}\xi_r^2} \right), \xi_r = \frac{E-s}{r} \quad (5.4.6:7)$$

kde: r poloměr zaoblení.

Pro boční přepad lze psát

$$-\frac{dQ}{dx} = \kappa q \quad (5.4.6:8)$$

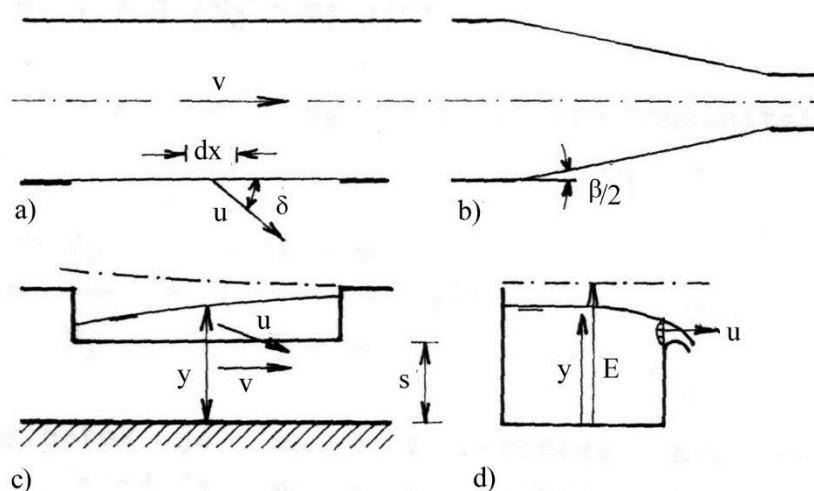
nebo:

$$dQ = -u * \sin * \delta * y_p * dx \quad (5.4.6:9)$$

Koeficient bočního přepadu κ má v sobě zahrnut vliv rychlosti přepadajícího paprsku u , vliv úhlu δ , který svírá tento paprsek s osou proudění v korytě a charakteristické hloubky proudění y_p .

Pro koeficient bočního přepadu lze formálně psát:

$$\kappa = \kappa_u * \kappa_\delta * \kappa_y \quad (5.4.6:10)$$

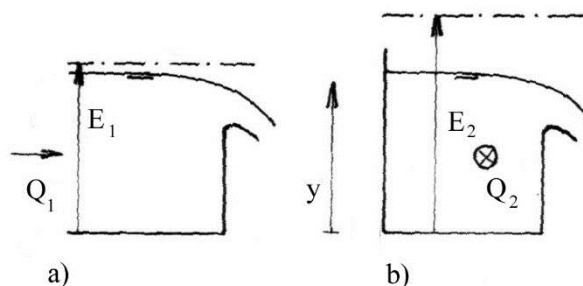


Obr. 19: Schéma pro výpočet podle Hagera [11]

a) prizmatické koryto, b) neprizmatické koryto, c) podélný řez, d) příčný řez

Pro $\delta = 90^\circ$ je výsledkem $\kappa = 1$ (přepad při ose proudu kolmé na osu koruny přelivu). Součinitel κ_y v rovnici 5.4.6:11 vyjadřuje vliv hloubky y . Srovnáním energetické výšky E_1 u čelného přepadu při přímém nátoku (osa proudění je kolmá na osu přelivné hrany) s energetickou výškou E_2 u bočního přepadu (osa proudění rovnoběžná s osou přelivné hrany) se energetické výšky liší, $E_1 < E_2$, protože $Q_2 > Q_1$. Hloubky y a výšky přelivné hrany s jsou v obou případech identické. Hloubka y téměř odpovídá energetické výšce E_1 . Součinitel κ_y vlastně převádí závislost $q(E)$ na $dQ/dx(y)$, čímž redukuje přepadající množství, a je vyjádřen rovnicí

$$\kappa_y = \sqrt{\left(\frac{y-s}{E-s}\right)} \quad (5.4.6:11)$$



Obr. 20: Porovnání přepadu čelního a bočního [11]

a) čelný přepad, b) boční přepad

Z různé velikosti energetických výšek E vyplývá, že jsou různé i rychlosti u přepadajícího paprsku. Tyto rychlosti lze vyjádřit rovnicemi:

$$u_1 = \sqrt{2g(E_1 - s)} \quad (5.4.6:12)$$

$$u_2 = \sqrt{2g(E_2 - s)} \quad (5.4.6:13)$$

kde energetická výška E_1 odpovídá hloubce y a energetická výška E_2 odpovídá celkové energetické výšce. Pro součinitel κ_u platí:

$$\kappa_u = \frac{u_2}{u_1} = \sqrt{\left(\frac{E-s}{y-s}\right)} \quad (5.4.6:14)$$

Pro přímý nátok je $\kappa_u = 1$, protože E/y se blíží jedné.

Pro boční přepad je $\kappa_u > 1$, protože E/y se blíží jedné a přítoková rychlost zvětšuje intenzitu přepadu.

Podle rovnice 5.4.6:10 lze vyjádřit $\kappa_\delta = \sin\delta$, maximální hodnota této funkce je v případě, kdy $\delta = 90^\circ$. Boční přelivy jsou objekty, u kterých se podmínky proudění mění pozvolna.

Za předpokladu rovnoměrného rozdělení rychlostí, jsou si rovny střední průřezová rychlost v a axiální složka rychlosti přepadající vody.

$$v = U * \cos\delta \quad (5.4.6:15)$$

Tuto rovnici lze vyjádřit také jako:

$$\cos\delta = \sqrt{1 * \sin^2\delta} \quad (5.4.6:16)$$

Poté lze psát:

$$\kappa_\delta = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{u}\right)^2} \quad (5.4.6:17)$$

Za předpokladu hydrostatického tlakového rozdělení, lze velikost úhlu δ počítat z rovnice

$$\sin\delta = \sqrt{\frac{y-s}{3E-2y-s}} \quad (5.4.6:18)$$

V případě, že y/E se blíží k jedné, je úhel $\delta = 90^\circ$. Pro $y = s$ je úhel $\delta = 0$, to znamená, že nic nepřepadá. Na rozdíl od přítokové rychlosti je intenzita bočního přepadu pro $\delta < 90^\circ$ redukována v porovnání s přepadem čelním.

Zúžení koryta podél přelivu vede k rovnoměrnějšímu rozdělení přepadajícího průtoku a k vyrovnaní hladiny. Pro případ zúžení vyjádřeného úhlem β a při sklonu dna i_0 je potřeba zavést do součinitelů κ_δ a κ_u opravný součinitel a výsledná rovnice pro přepadající průtok pak přechází do tvaru

$$-\frac{dQ}{dx} = \frac{3}{5} M \sqrt{gE^3} \left(\frac{y}{E} - \frac{s}{E}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{E-s}{3E-2y-s}} (1 - (tg\beta + i_0) \sqrt{\frac{3(E-y)}{y-s}}) \quad (5.4.6:19)$$

Součinitel přepadu M je pro ostrohranný přeliv $M = 1$, pro $s = 0$ je $M = 8/7$, pro obdélníkový tvar koruny přelivu s šířkou koruny t platí

$$M = 1 - \frac{2}{9(1+c_L^4)} \quad (5.4.6:20)$$

kde

$$c_L = \frac{E-s}{t} \quad (5.4.6:21)$$

a pro kruhově zaoblenou korunu přelivu s poloměrem r platí

$$M = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(1 + \frac{0,25c_r}{1+0,5c_r}\right) \quad (5.4.6:22)$$

kde

$$c_r = \frac{E-s}{r} \quad (5.4.6:23)$$

V případě hydrostatického tlakového rozdělení je průběh hladiny řešen podle diferenciální rovnice, která má tvar:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1 + \frac{\beta Q^2}{gS^3} \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{\beta Q}{gS^2} \frac{dQ}{dx} - \frac{Q^2}{2gS^2} \frac{d\beta}{dx}}{1 - \frac{\beta Q^2}{gS^3} \frac{\partial S}{\partial y}} \quad (5.4.6:24)$$

Za I dosazujeme

$$I = i_0 - i_{tp} - i_{pp} \quad (5.4.6:25)$$

kde: i_{tp}průměrná ztráta třením

i_{pp}průměrné ztráty přepadajícím průtokem, které lze vyjádřit

$$i_{pp} = -\left(\beta - \frac{u}{v}\right) \frac{Q}{gS^2} \frac{dQ}{dx} \quad (5.4.6:26)$$

Součinitel β se počítá podle analytické rovnice, tento součinitel vyjadřuje vliv nerovnoměrného rozdělení rychlosti vlivem bočního přepadu:

$$\beta = \sqrt{1 + \left(\frac{B}{Q} * \frac{dQ}{dx}\right)^2} \quad (5.4.6:27)$$

kde: Bšířka obdélníkového koryta [11].

5.4.7 Energetické řešení

Metody založené na předpokladu celkové mechanické energie proudu simulují dobře přepad přes boční přeliv. Správnost těchto výpočtů je ověřena měřením. Předpoklad konstantní mechanické energie v kanálu podél přelivné hrany znamená, že celková energie jednotky tíhy vody v kanálu není ovlivněna bočním přepadem. Dále se v příčném průřezu kanálu předpokládá hydrostatické rozdělení tlaku a pro přepadové množství na jednotku délky přelivné hrany se používá základní rovnice přepadu ve tvaru:

$$-\frac{dQ}{dx} = q = m_s * \sqrt{2g}(y-s)^{3/2} \quad (5.4.7:1)$$

kde: m_s součinitel přepadu

y hloubka vody

s výška přelivu

Q průtok ve zvoleném příčném průřezu kanálu.

Vztah pro součinitel přepadu je možné vyjádřit rovnicí

$$m_s = c * m \quad (5.4.7:2)$$

kde m je součinitel čelního přepadu a podle tvaru přelivné hrany pro tvarový součinitel c platí:

$$c = 1 - \frac{2}{9*(1+\xi_b^4)} \quad (5.4.7:3)$$

kde: $\xi_b = h_0/L$

respektive pro kruhově zaoblenou korunu přelivu:

$$c = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(1 + \frac{\frac{22}{81}\xi_r^2}{1 + \frac{1}{2}\xi_r^2} \right) \quad (5.4.7:4)$$

Jestliže ve zvoleném příčném průřezu je poloha dna kanálu nad srovnávací rovinou, platí pro celkovou mechanickou energii proudu vztah

$$E = z + y + \frac{\alpha v^2}{2g} = z + y + \frac{\alpha Q^2}{2gS^2} \quad (5.4.7:5)$$

Derivace se musí pro konstantní mechanickou energii rovnat nule

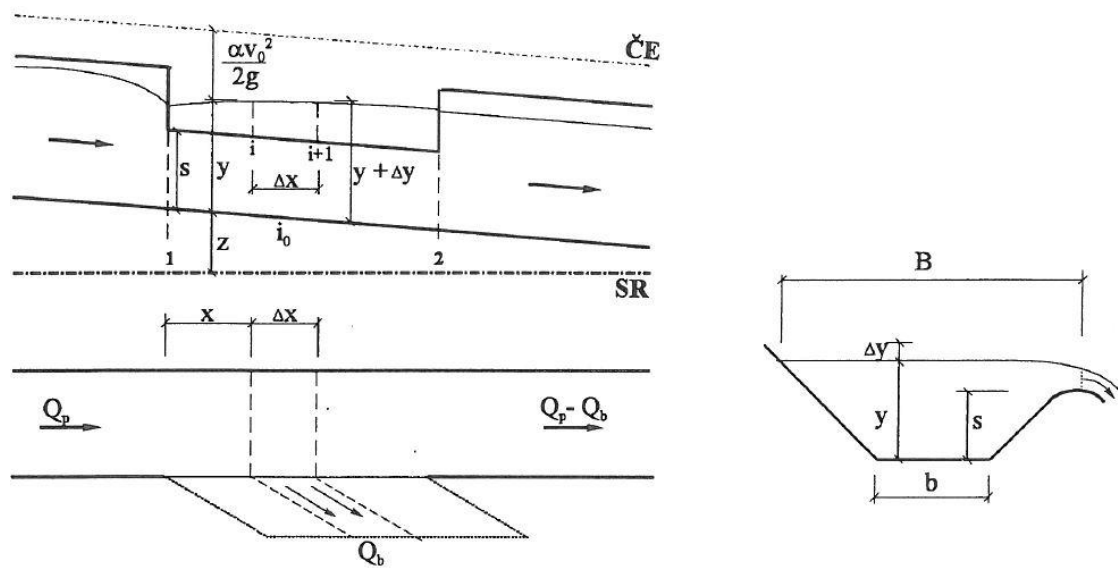
$$\frac{dE}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \left[\frac{2Q}{S^2} * \frac{dQ}{dx} - \frac{2Q^2}{gS^3} * \frac{dS}{dx} \right] \quad (5.4.7:6)$$

Zavede se sklon čáry energie $i_E = -dE/dx$, resp. sklon dna $i_0 = dz/dx$, a protože pro obecný tvar příčného průřezu platí:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dx} &= \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial y} \frac{dy}{dx} \\ \frac{\partial S}{\partial x} &= y \frac{dB}{dx} \\ B &= \frac{\partial S}{\partial y} \end{aligned} \quad (5.4.7:7)$$

Po úpravě pro změnu hladiny podél přelivné hrany dostaneme obyčejnou diferenciální rovnici ve tvaru [22]:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{i_0 - i_E - \frac{\alpha Q}{gS^2} \frac{dQ}{dx} + \frac{\alpha Q^2}{gS^3} y \frac{dB}{dx}}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{gS^3}} \quad (5.4.7:8)$$



Obr. 21: Výpočtové schéma říčního proudění

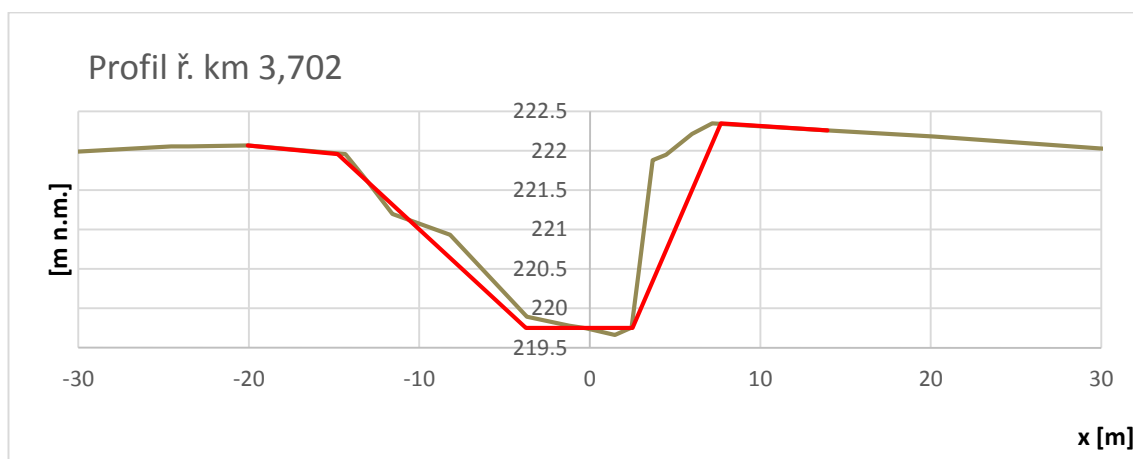
6 NÁVRH STAVEBNÍ ČÁSTI

Výpočty byly provedeny v programu HEC-RAS a v programu Excel. Při návrhu rozdělovacího objektu a navazujících konstrukcí byl zvolen následující postup:

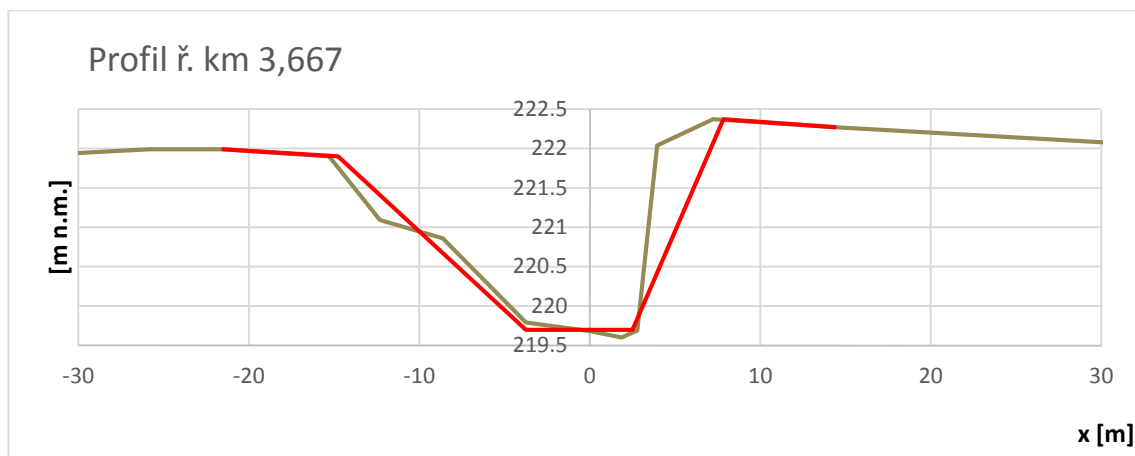
- úprava koryta Romže v rozsahu ř. km 3,632 – ř. km 3,702,
- návrh geometrie objektu,
- návrh odlehčovacího kanálu,
- vegetační doprovod,
- údržba a přístup,
- aplikace geometrie odlehčovacího kanálu,
- aplikace geometrie Hloučely, ř. km 3,181 – ř. km 3,736,
- určení měrné křivky přepadu přes spodní stavbu objektu,
- výběr vhodné hradící konstrukce,
- výpočet manipulace na rozdělovacím objektu,
- úprava Hloučely v ř. km 3,396 - napojení odlehčovacího kanálu.

6.1 ÚPRAVA KORYTA

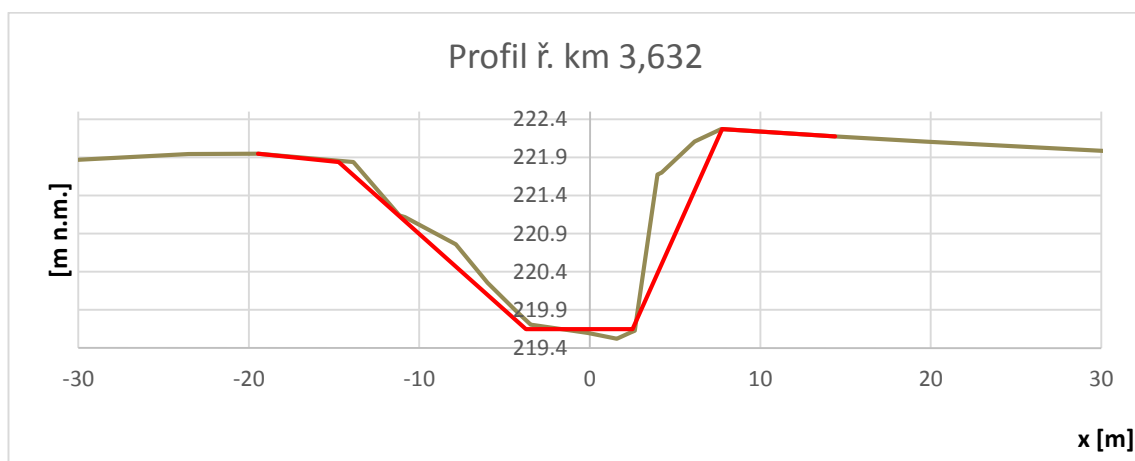
Úprava průtočného profilu bude provedena na toku Romže v místě rozdělovacího objektu od ř. km 3,632 po ř. km 3,702. Úprava průtočného profilu bude provedena v celkové délce 70 m. Průtočný profil bude mít tvar nepravidelného lichoběžníku. Tvar profilu bude respektovat současnou podobu koryta. Levý břeh bude ve sklonu 1:5 a pravý břeh ve sklonu 1:2. Minimální hloubka koryta bude 2,2 m, šířka koryta ve dně bude 6,25 m. Podélný sklon nivelety upraveného koryta 2,00‰ je zvolen tak, aby upravená část plynule navazovala na původní koryto.



Graf 2: Upravený profil ř. km 3,702

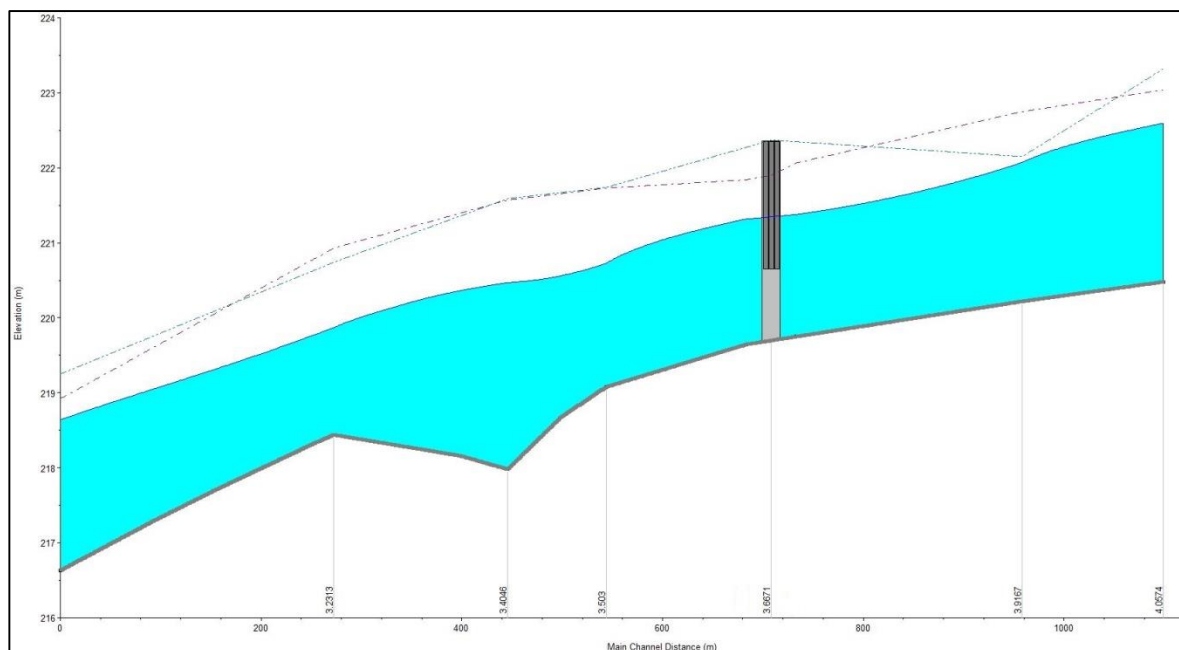


Graf 3: Upravený profil ř. km 3,667



Graf 4: Upravený profil ř. km 3,632

Kapacita upraveného úseku koryta je přibližně $37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hodnota tohoto průtoku odpovídá povodni o N-letosti Q_{100} . Z hlediska charakteru okolí řešené lokality je tato kapacita pro daný úsek dostačující.



Obr. 22: Průběh hladiny při průtoku $Q_{20} = 21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, po provedené úpravě (výstup z programu HEC-RAS).

6.2 NÁVRH ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU

Ideovým podkladem pro návrh rozdělovacího objektu byla diplomová práce Juránová [24]. Převzaté údaje a hodnoty jsou:

- maximální odlehčovaný průtok $Q_0 = 8,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- odlehčování od průtoku $Q_{20} = 21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Romži,
- odlehčování do průtoku $Q = 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Hloučele,
- délka přelivné hrany 15 m,
- umístění rozdělovacího objektu Romže ř. km 3,6671.

6.2.1 Geometrie rozdělovacího objektu

V prvním kroku bylo potřeba navrhnout vlastní rozměry rozdělovacího objektu. Z předešlé práce byla známá orientační délka přelivné hrany 15 m. Konstruktivně se bude jednat o třípólový boční jez, kde bude mít každé pole světlu šířku 5 m. Jednotlivá pole budou od sebe oddělena pilíři o tloušťce 1,0 m. Do těchto pilířů budou konstruktivně osazeny stavidlové tabule. Šířka přelivné hrany bude 1,0 m. Zbývalo navrhnout umístění přelivné hrany. Jako tvar přelivné hrany byl zvolen obdélník. Pro určení umístění přelivné hrany byl použit program HEC-RAS, byl použit výpočet bočního přelivu. Pro první výpočet byla přelivná hrana zvolena do vypočítané úrovně dvacetileté vody, tedy do výšky 221,35 m n. m. a přepad byl uvažován jako dokonalý.

Pro takto umístěnou přelivnou hranu není hodnota přepadajícího průtoku dostačující. Proto bylo zvoleno umístění přelivné hrany pod úroveň hladiny Q_{20} .

Při takto zvolené přelivné hraně je jasné, že bude potřeba manipulace na rozdělovacím objektu, aby nedocházelo k předčasnému odlehčení.

Další tři možnosti výškového umístění přelivné hrany byly v 220,90 m n. m., 220,80 m n. m. a 220,70 m n. m. Jako nejlepší varianta pro řešenou situaci, tedy přelivnou hranu o celkové délce 15 m a dokonalý přepad, se jeví přelivná hrana umístěná ve 220,70 m n. m.

Výpočty přepadu byly provedeny pro všechny představené verze výpočtu. Výpočet podle prof. Kunštátského nedával uspokojivé výsledky, a proto nebyl do řešení zahrnut.

Naproti tomu výpočet dle Bürgela, při hodnotě součinitele šikmého nátoku $\lambda = 0,75$, dává velmi slušné výsledky v porovnání s výpočtem energetické rovnice bočního přepadu. Což je dobrým poznatkem pro praxi, kdy tento výpočet může sloužit k rychlému určení přepadového množství, případně parametrů konstrukce bočního jezu.

Jako určující kritérium byla brána hodnota energetického řešení bočního přepadu v programu Excel, jelikož je to nejméně příznivá varianta komplexního výpočtu.

Tab. 16: Tabulka odlehčovaného průtoku, přelivná hrana 220,9 m n. m.

Umístění přelivné hrany	220.9 m n. m.
Délka přelivné hrany	15 m
Přepadový součinitel m=	0.385

	EXCEL	HEC
	$Q_o [m^3 \cdot s^{-1}]$	$Q_o [m^3 \cdot s^{-1}]$
Energetické řešení	7.09	6.72
Hager	9.57	7.65
Pavlovskij	5.30	-
Bürgel	6.98	-
Musterle	8.08	-
Engels	6.06	-

Tab. 17: Tabulka odlehčovaného průtoku, přelivná hrana 220,8 m n. m.

Umístění přelivné hrany	220,8 m n. m.
Délka přelivné hrany	15 m
Přepadový součinitel m=	0,378

	EXCEL	HEC
	Q _o [m ³ ·s ⁻¹]	Q _o [m ³ ·s ⁻¹]
Energetické řešení	7,64	7,84
Hager	10,42	8,93
Pavlovskij	5,83	-
Bürgel	7,61	-
Musterle	8,71	-
Engels	6,67	-

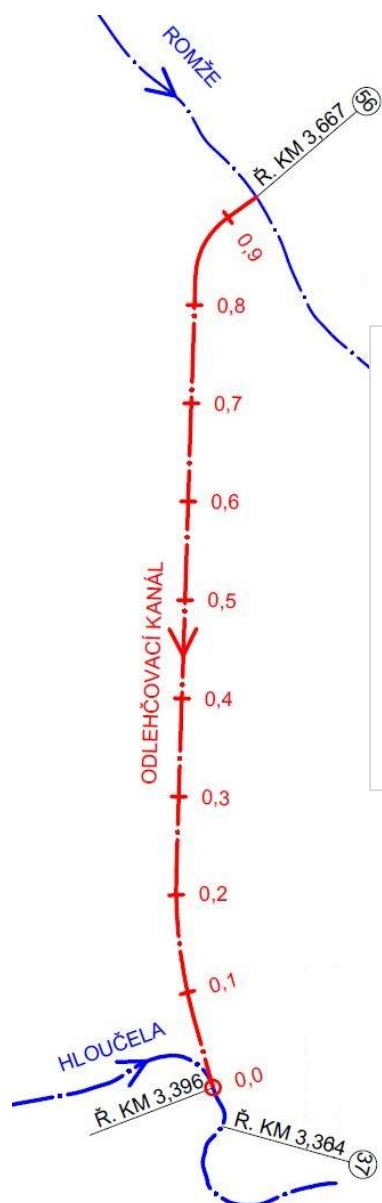
Tab. 18: Tabulka odlehčovaného průtoku, přelivná hrana 220,7 m n. m.

Umístění přelivné hrany	220,7 m n. m.
Délka přelivné hrany	15 m
Přepadový součinitel m=	0,380

	EXCEL	HEC
	Q _o [m ³ ·s ⁻¹]	Q _o [m ³ ·s ⁻¹]
Energetické řešení	8,72	8,90
Hager	11,49	10,16
Pavlovskij	6,86	-
Bürgel	8,80	-
Musterle	9,96	-
Engels	7,95	-

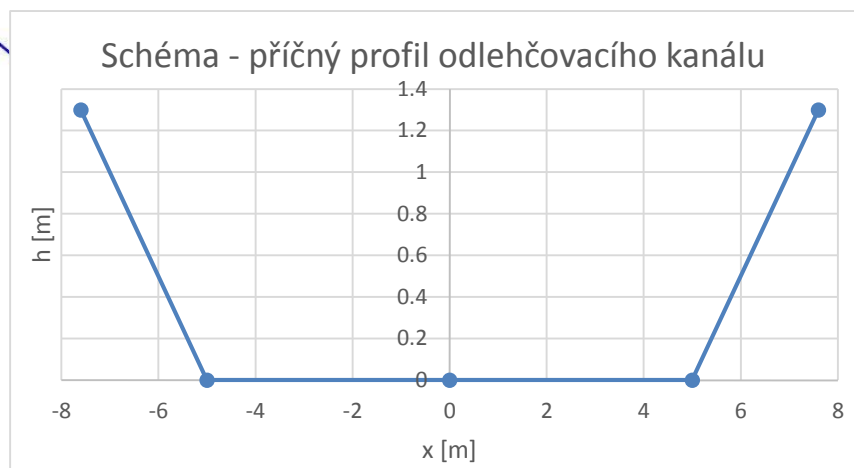
6.3 ODLEHČOVACÍ KANÁL

Odlehčovací kanál bude sloužit k odvádění odlehčené vody z Romže do Hloučely. Napojení kanálu na rozdělovací objekt na toku Romže v ř. km 3,667 bude čelní a dno bude umístěno do kóty 220,20 m n. m. Zaústění kanálu bude na Hloučele v ř. km 3,396, zaústění bude provedeno do levého břehu toku v 219,85 m n. m. Příčný profil odlehčovacího kanálu bude nepravidelný lichoběžník. Celková délka odlehčovacího kanálu bude 936,3 m. Byla navržena nová trasa odlehčovacího kanálu, která nerespektuje územní plán. Trasa mimo pozemky vyhrazené územním plán má výhodnější umístění rozdělovacího objektu, a také lepší sklonové poměry v kanálu.



Odlehčovací kanál bude mít celkem tři části:

1. napojení na rozdělovací objekt, od ř. km 0,910
2. dopravní část do ř. km 0,910
3. napojení do toku Hloučely v ř. km 3,396



Graf 5: Schéma příčného profilu odlehčovacího kanálu

Obr. 23: Schéma kanálu

Horní část kanálu pod rozdělovacím objektem, bude sloužit k utlumení energie vody po přepadu. Průřez v této části bude mít tvar pravidelného lichoběžníku, ve dně bude šířka 17 m a sklony svahů budou 1:2. Opevnění bude zajištěno na dně pomocí kamenného záhozu z lomového kamene o průměru zrna v rozmezí 0,30 až 0,40 m o hmotnosti 150 - 200 kg. Opevnění svahů bude zajištěno pomocí dlažby na sucho z lomových kamenů o průměrné velikosti 0,4 až 0,5 m a hmotnosti od 300 do 350 kg. Lze předpokládat, že během několika let dojde k úplnému překrytí kamenů vegetací, čímž bude zajištěno dokonalé začlenění do krajiny. Tento úsek začíná v ř. km 0,920 a má délku 10 m, konec je pod rozdělovacím objektem. Navazující část kanálu slouží jako přechodová část k plynulé změně průřezu kanálu z šířky ve dně 17 m na šířku 10 m. Tato přechodná část má taktéž 10 m. Přechodová část kanálu bude od ř. km 0,910

po ř. km 0,920 a bude opevněna ohumusováním a osetím vhodnou travní směsí. Není potřeba vytvářet vývar, protože nebude docházet k vytváření vodního skoku viz *Tab 19*.

Tab. 19: Vzájemné hloubky VS pod rozdělovacím objektem.

Q_0	h_d	E_0	h_c	h_{c2}	h_{c3}	h_{c4}	h_{c5}	h_1	h_2	$\sigma=$
$[m^3 \cdot s^{-1}]$	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	-
0,10	0,08	1,102	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,072	1,11
0,50	0,21	1,107	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,160	1,32
1,00	0,32	1,112	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,223	1,43
1,50	0,40	1,117	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,271	1,47
2,00	0,48	1,120	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,311	1,54
2,50	0,55	1,124	0,037	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,345	1,59
3,00	0,61	1,127	0,044	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,376	1,62
3,50	0,67	1,130	0,052	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,404	1,66
4,00	0,72	1,133	0,059	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,429	1,68
4,50	0,78	1,135	0,066	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,453	1,72
5,00	0,83	1,138	0,073	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,475	1,75
5,50	0,87	1,140	0,081	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,496	1,76
6,00	0,92	1,143	0,088	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092	0,515	1,79
6,50	0,96	1,145	0,095	0,099	0,100	0,100	0,100	0,100	0,533	1,80
7,00	1,00	1,147	0,102	0,107	0,108	0,108	0,108	0,108	0,551	1,82
7,50	1,04	1,150	0,110	0,115	0,116	0,116	0,116	0,116	0,567	1,83
8,00	1,08	1,152	0,117	0,123	0,124	0,124	0,124	0,124	0,583	1,85

Dopravní část kanálu po ř. km 0,910 bude mít tvar pravidelného lichoběžníku, ten bude mít šířku ve dně 10 m, sklon svahu bude 1:2. Minimální hloubka kanálu je určena na hodnotu $h = 1,3$ m. Podélný sklon dna kanálu je 0,38‰, z čehož vyplývají i tak velké rozměry kanálu. Kanál bude opatřen ohumusováním a osetím vhodnou travní směsí, která se je složena z kostřavy červené výběžkaté 40%, kostřavy červené trsnaté 35%, lipnice luční 15% a jílku vytrvalého 15%.

Tab. 20: Kapacita odlehčovacího kanálu.

h	S	O	R	C	v	Q
[m]	$[m^2]$	[m]	[m]	$[m^{0,5} s^{-1}]$	$[m s^{-1}]$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
1,30	16,38	15,81	1,036	33,529	0,667	10,927
1,09	13,26	14,87	0,892	32,702	0,604	8,001

Dolní část kanálu, tedy napojení do toku Hloučely, bude provedeno v 219,85 m n. m., tedy 0,37 m nad dnem toku. Opevnění a detailní provedení zaústění kanálu bude vyřešeno v kapitole 6.8.

Pro vybudování kanálu bude třeba získat pozemky. Minimální šířka záboru pozemků je stanovena na hodnotu 25 m. Rozměr pro zábor pozemku vychází z geometrie kanálu.

6.3.1 Vegetační doprovod

Vegetační doprovod vodního toku by měl působit jako přirozený biokorydor, spojnice migračních cest mezi lesními celky. Z ekologického hlediska je vegetační doprovod neoddelitelnou součástí biotopu říčního toku a jeho bližšího i vzdálenějšího okolí.

Vhodná skladba vegetačního doprovodu toku má několik částí. Blíže k hladině navrhujeme nižší keřové porosty, dále od hladiny pak nižší stromové porosty a za břehovou hranou stromové dřeviny s možným a žádaným kořenovým patrem. Porosty navrhujeme ve skupinách, kde není dřevinný porost na svahu, navrhujeme výsev vhodné travní směsi (je nutno si uvědomit, že protierozní ochranu svahu zajišťuje především vitální travní porost). [28]

Základem vegetačního doprovodu stromového patra by měla být olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), olše šedá (*Alnus incana*), vrba křehká (*Salix fragilis*), topol osika (*Populus tremula*) a jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*). Stromové patro bude vysazováno nad břehovou čarou ve skupinách ve vhodných rozestupech dle konkrétních typů dřevin.

Základní skladba keřového patra by se měla skládat z vrby slezské (*Salix silesiaca*), vrby nachové (*Salix purpurea*), krušiny olšové (*Frangula alnus*) a olšičky zelené (*Duschekia viridis*). Keřové patro je možné vysazovat i mírně pod břehovou čarou. Výsadbu je opět vhodné volit po skupinách.

Vegetační doprovod je třeba doplnit výsevem vhodné travní směsi, která bude působit jako protierozní ochrana. Vhodná travní směs obsahuje: kostřavu červenou výběžkatou 40%, kostřavu červenou trsnatou 35%, lipnici luční 15% a jílek vytrvalý 15%. [29]

Při návrhu vegetačního doprovodu odlehčovacího kanálu by bylo vhodné provést konzultaci s dendrologem.

6.3.2 Komunikace a údržba

Při realizaci objektu bude nutné dostat se do místa výstavby s těžkou mechanizací. Z tohoto důvodu bude muset být zbudována komunikace, která bude trvalá, tudíž po ukončení výstavby nebude zrušena. V budoucnu bude používána pro přístup k rozdělovacímu objektu z důvodu kontrol, revizí a oprav. Nejvhodnější návrh trasy komunikace je napojení z prostějovské ulice Za Olomouckou, jelikož se s touto ulicí počítá do budoucnosti jako s hlavní komunikací ve směru Kostelec

na Hané. Od úrovně odlehčovacího kanálu bude komunikace pokračovat po jeho levém břehu až k rozdělovacímu objektu. Na konci komunikace u objektu je nutné zbudovat plochu pro jeřáb a obratiště pro techniku.

Komunikace bude sloužit i pro pojezd mechanizace, přístup dělníků a pracovníků provádějících běžnou údržbu odlehčovacího kanálu jako sekání trávy, údržbu dřevin, prořez dřevin a odstraňování náletových dřevin. Údržba odlehčovacího kanálu bude prováděna minimálně dvakrát ročně.

6.4 UPŘESNĚNÍ NÁVRHU ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU

Pro upřesnění výpočtů bylo zapotřebí doplnění geometrie odlehčovacího kanálu a geometrie toku Hloučely. Po doplnění těchto modelů se musel výpočet ověřit a vypočítat, případně podle výsledků provést změny v geometrii rozdělovacího objektu.

6.4.1 Aplikování geometrie kanálu

Při zahrnutí geometrie kanálu došlo k ovlivnění výpočtu. Konkrétně došlo k nastoupání dolní vody pod rozdělovacím objektem, tím došlo k ovlivnění přepadajícího množství, tudíž se nemohl přepad počítat jako dokonalý. Tyto výpočty byly prováděny pro $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Hloučece.

Jako první krok bylo zvoleno zahloubení kanálu o 0,2 m. Tedy dno pod rozdělovacím objektem v kótě 220,20 m n. m. a zaústění do Hloučely na kótě 219,85 m n. m. Součinitel zatopení byl určen na hodnotu $\sigma_z = 0,961$. Odlehčovaný průtok se zmenšil na stále vyhovující hodnotu $Q_0 = 8,377 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

6.4.2 Aplikování geometrie Hloučely

Dalším postupem bylo přidání geometrie Hloučely. Po zadání geometrie a provedení výpočtu je patrné, že při průtoku $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Hloučece, se vzduje voda v odlehčovacím kanále od Hloučely a pod rozdělovací objekt. Vzduť se ustálí na kótě hladiny 220,37 m n. m. což je o 0,17 m více než je úroveň dna kanálu pod rozdělovacím objektem.

Z tohoto důvodu vyšel součinitel zatopení o hodnotě $\sigma_z = 0,971$. Odlehčovaný průtok tedy měl hodnoty $Q_0 = 7,60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tento průtok již nebyl vyhovující. Z tohoto důvodu bylo nutné změnit geometrii pro zkapacitnění rozdělovacího objektu.

Pro zlepšení odlehčovaného množství byla zvolena varianta snížení přelivné hrany o 5 cm, tedy na kótu 220,65 m n. m. Při takto nastavené geometrii vyšla hodnota součinitele zatopení $\sigma_z = 0,871$. Tomu odpovídá odlehčovaný průtok $Q_0 = 8,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hodnota tohoto průtoku je dostačující.

Aby bylo zamezeno vzdouvání vody až k rozdělovacímu objektu, je možné zbudovat v odlehčovacím kanále příčnou vzdouvací stavbu. Tato stavba bude mít výšku 0,45 m, přelivná hrana bude na kótě 220,38 m n. m a bude umístěna přibližně 200 m

od zaústění odlehčovacího kanálu do Hloučely. Vzduvací objekt zajistí, že hladina vzdutá od průtoků na Hloučele nepostoupí dále proti proudu kanálu. Voda zadržaná nad vzduvacím objektem se díky nízké úrovni pozemní vody po ukončení odlehčování na Romži bez problémů vsákne do podloží.

Při zvolení možnosti vzduvacího objektu v odlehčovacím kanále se změní součinitel zatopení na hodnotu $\sigma_z = 0,865$ a odlehčovaný průtok pro pevnou stavbu bude mít hodnotu $Q_o = 8,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tab. 21: Tabulka odlehčovaného průtoku (neovlivněný), přelivná hrana 220,65 m n. m.

Umístění přelivné hrany	220,65 m n. m.
Délka přelivné hrany	15 m
Přepadový součinitel m=	0,38

	EXCEL	HEC
	$Q_o [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_o [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
Energetické řešení	9,31	9,48
Hager	10,88	10,77
Pavlovskij	6,49	-
Bürgel	8,36	-
Musterle	9,48	-
Engels	7,51	-

6.4.3 Součinitel zatopení

Součinitel zatopení byl určen pomocí programu HEC-RAS. Byl proveden neovlivněný výpočet bočního přepadu a posléze výpočet ovlivněný spodní vodou. Součinitel zatopení se posléze získá jako poměr hodnot přepadů.

$$\sigma_z = \frac{Q_o}{Q_{oN}} \quad (6.4.3:1)$$

kde: Q_o odlehčovaný průtok ovlivněný dolní vodou,

Q_{oN} odlehčovaný průtok neovlivněný spodní vodou.

6.5 MĚRNÁ KŘIVKA PŘEPADU PŘES SPODNÍ STAVBU

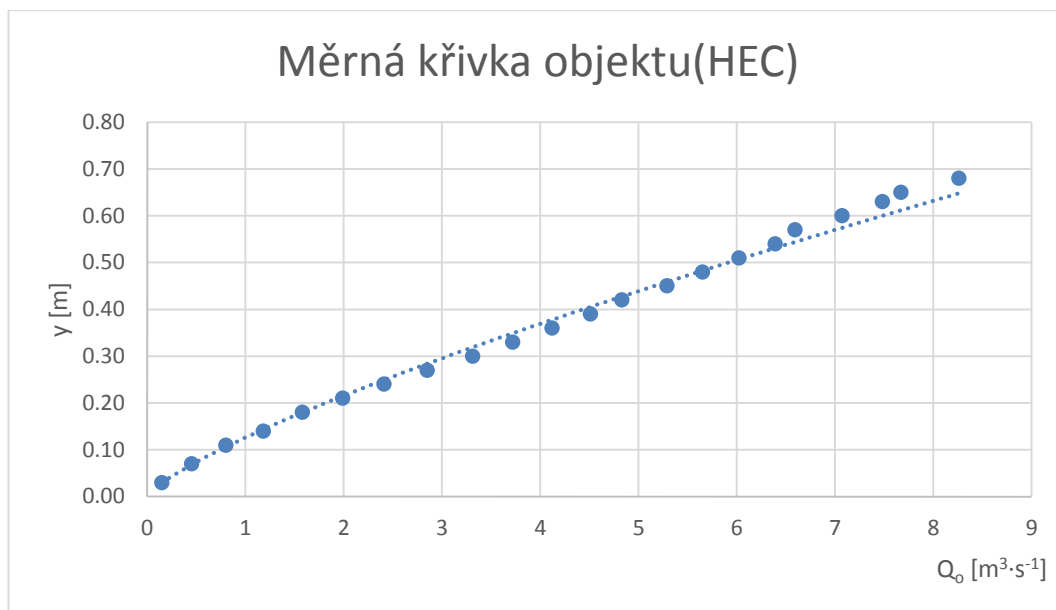
Byly zpracovány měrné křivky přepadu v programu HEC-RAS a programu Excel. Výpočty v obou programech byly počítány jako energetické řešení. Výpočet proběhl pro 3 pole, která byla plně vyhrazená. Ze získaných hodnot je zřejmé, že program HEC-RAS výpočet bočního přepadu linearizuje.

Tab. 22: Měrná křivka podle programu HEC-RAS.

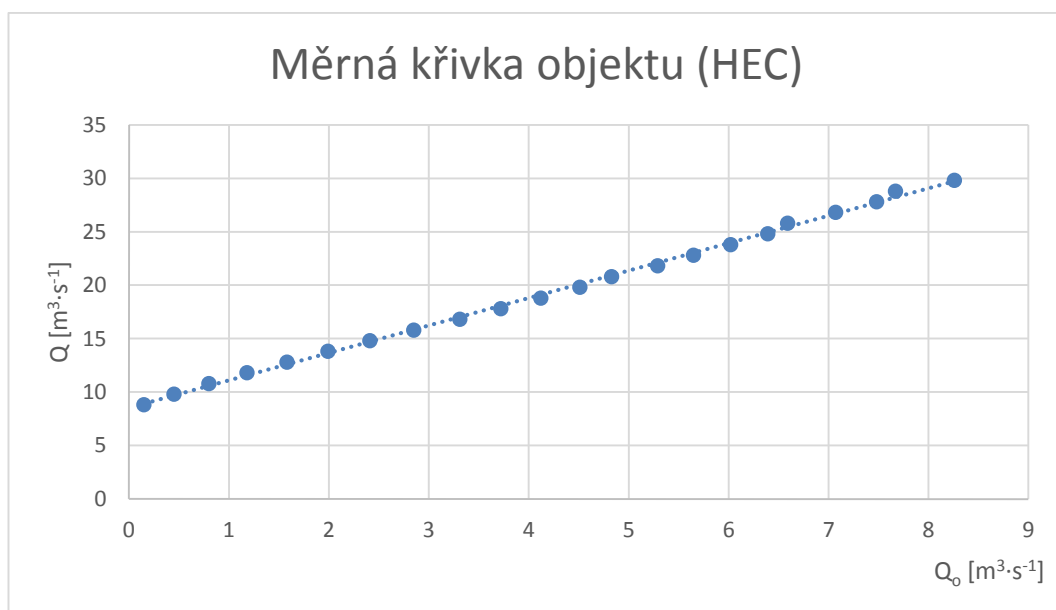
HEC-RAS							
Q_{kor} [m ³ ·s ⁻¹]	Q_{on} [m ³ ·s ⁻¹]	h [m]	h [m n. m.]	y [m]	σ_z [-]	Q_o [m ³ ·s ⁻¹]	Q_d [m ³ ·s ⁻¹]
8,8	0,15	1,00	220,68	0,03	1,000	0,15	8,65
9,8	0,45	1,04	220,72	0,07	1,000	0,45	9,35
10,8	0,80	1,08	220,76	0,11	1,000	0,80	10,00
11,8	1,18	1,11	220,79	0,14	1,000	1,18	10,62
12,8	1,58	1,15	220,83	0,18	1,000	1,58	11,22
13,8	1,99	1,18	220,86	0,21	1,000	1,99	11,81
14,8	2,42	1,21	220,89	0,24	0,996	2,41	12,39
15,8	2,85	1,24	220,92	0,27	1,000	2,85	12,95
16,8	3,29	1,27	220,95	0,30	1,006	3,31	13,49
17,8	3,74	1,30	220,98	0,33	0,995	3,72	14,08
18,8	4,20	1,33	221,01	0,36	0,981	4,12	14,68
19,8	4,66	1,36	221,04	0,39	0,968	4,51	15,29
20,8	5,13	1,39	221,07	0,42	0,942	4,83	15,97
21,8	5,60	1,42	221,10	0,45	0,945	5,29	16,51
22,8	6,06	1,45	221,13	0,48	0,932	5,65	17,15
23,8	6,55	1,48	221,16	0,51	0,919	6,02	17,78
24,8	7,04	1,51	221,19	0,54	0,908	6,39	18,41
25,8	7,52	1,54	221,22	0,57	0,876	6,59	19,21
26,8	8,00	1,57	221,25	0,60	0,884	7,07	19,73
27,8	8,49	1,60	221,28	0,63	0,881	7,48	20,32
28,8	8,98	1,62	221,30	0,65	0,854	7,67	21,13
29,8	9,48	1,65	221,33	0,68	0,871	8,26	21,54

kde: h úroveň hladin,

y výška přepadajícího paprsku.



Graf 6: Měrná křivka rozdělovacího objektu, závislost odlehčovaného množství na přepadové výšce, HEC-RAS.



Graf 7: Měrná křivka rozdělovacího objektu, závislost odlehčovaného množství na průtoku, HEC-RAS.

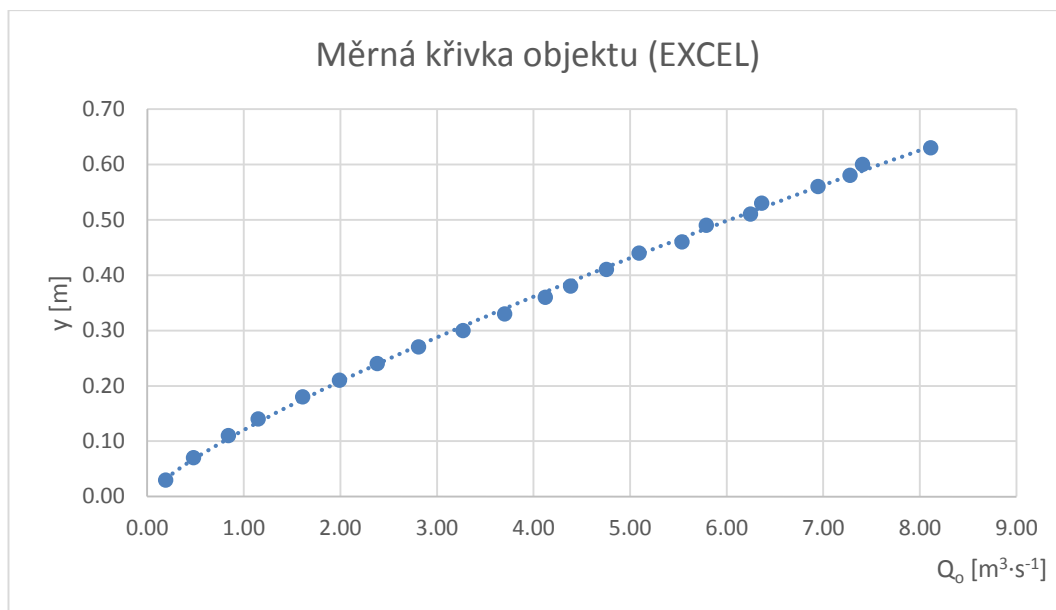
Pro naše účely je důležitější měrná křivka přepadu vypočtená ručně v programu Excel. Tento výpočet dává horší hodnoty, a proto je brán jako směrodatný. Okrajové podmínky pro výpočet v programu EXCEL – průtok a hloubka vody na začátku přelivu, byly převzaty z výpočtů programu HEC-RAS. Výpočet proběhl pro 3 pole, která byla plně vyhrazená. Výsledky ručního výpočtu již nevycházejí tolik jako lineární.

Tab. 23: Měrná křivka podle programu Excel

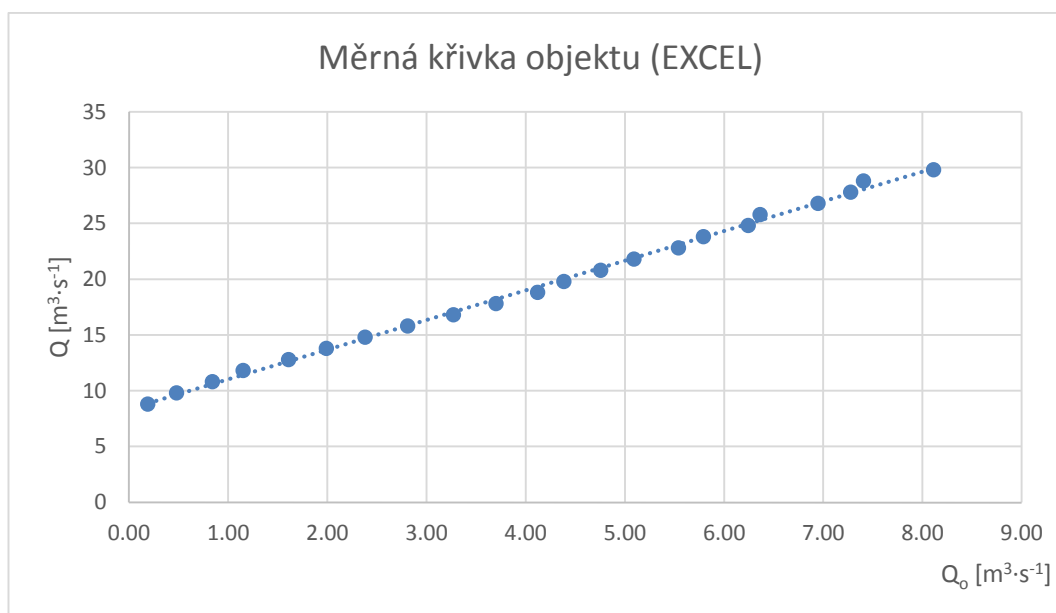
Excel					
h [m]	h [m n. m.]	y [m]	Q _{on} [m ³ ·s ⁻¹]	Q _o [m ³ ·s ⁻¹]	Q _d [m ³ ·s ⁻¹]
1,00	220,68	0,03	0,19	0,19	8,61
1,04	220,72	0,07	0,48	0,48	9,32
1,08	220,76	0,11	0,84	0,84	9,96
1,11	220,79	0,14	1,15	1,15	10,65
1,15	220,83	0,18	1,61	1,61	11,19
1,18	220,86	0,21	1,99	1,99	11,81
1,21	220,89	0,24	2,39	2,38	12,42
1,24	220,92	0,27	2,81	2,81	12,99
1,27	220,95	0,30	3,25	3,27	13,53
1,30	220,98	0,33	3,72	3,70	14,10
1,33	221,01	0,36	4,20	4,12	14,68
1,35	221,03	0,38	4,53	4,38	15,42
1,38	221,06	0,41	5,05	4,75	16,05
1,40	221,09	0,44	5,39	5,09	16,71
1,43	221,11	0,46	5,94	5,54	17,26
1,45	221,14	0,49	6,30	5,79	18,01
1,48	221,16	0,51	6,88	6,24	18,56
1,50	221,18	0,53	7,26	6,36	19,44
1,53	221,21	0,56	7,86	6,95	19,85
1,55	221,23	0,58	8,26	7,28	20,52
1,57	221,25	0,60	8,67	7,41	21,39
1,60	221,28	0,63	9,31	8,11	21,69

kde: h úroveň hladin,

y výška přepadajícího paprsku.



Graf 8: Měrná křivka rozdělovacího objektu, závislost odlehčovaného množství na přepadové výšce, Excel.



Graf 9: Měrná křivka rozdělovacího objektu, závislost odlehčovaného množství na průtoku, Excel.

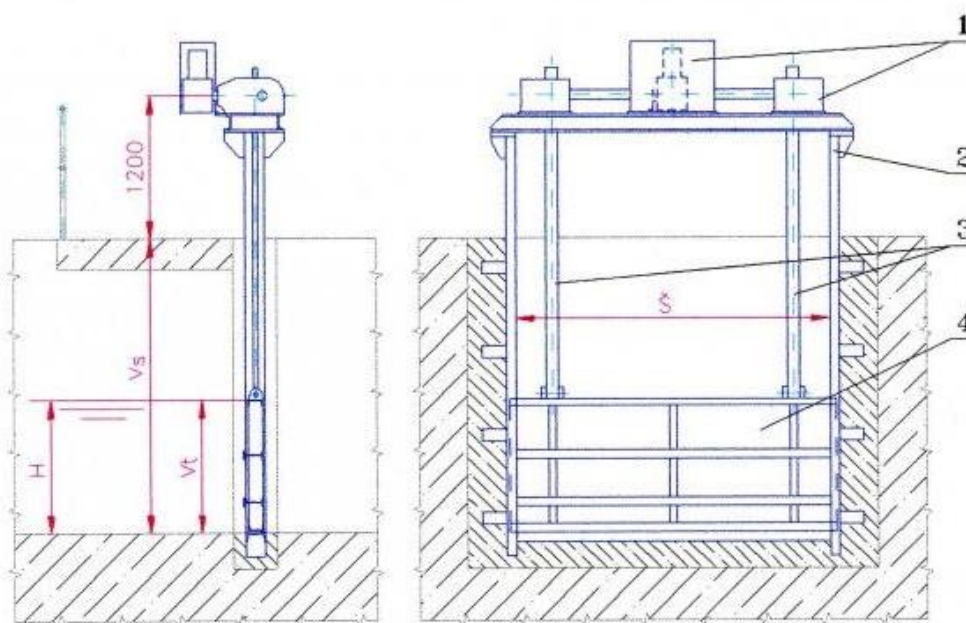
6.6 HRADÍCÍ KONSTRUKCE

Jako nejvhodnější hradící konstrukce byla zvolena stavidla. Celkem budou použita tři stavidla. Světlá šířka otvoru pro jedno stavidlo je 5,0 m. Světla velikost tabulí bude 5,0 m x 1,5 m (V x Š). Výška jednotlivých stavidel musí být 1,5 m. Výška hradící tabule je volena tak, aby nedocházelo k přelítí zahrazených stavidel při povodňových průtocích i v případech, kdy se již nebude odlehčovat. Stavidla budou konstrukčně

řešena jako zdvižná, ovládaná elektromotory. Motory budou ovládány dálkově, automaticky v závislosti na průtocích v Romži a Hloučele.

Pro umožnění manipulace bude nutné přivést elektrickou energii, která zajistí funkci elektromotoru. Jako reálné se jeví tři možnosti přivedení elektrické energie. První varianta je přivedení rozvodu elektřiny z obytné zóny Držovice, která je vzdálená cca 1,2 km. Druhá možnost je přivedení elektrické energie z přilehlé průmyslové zóny, která je vzdálená cca 0,6 km. Poslední možností je přivedení energie z plánovaného obchvatu směrem na Kostelec na Hané. Tato možnost by byla nejvýhodnější vzhledem k nejmenší vzdálenosti nutné pro vedení (0,5 km). V současné době ale není přesně stanoveno datum realizace a dokončení této stavby.

Osazení stavidel bude popsáno ve výkresové části, příloha č. 8, 9 a 10. Pro případnou realizaci by bylo nutné provést změnu ve výkresech podle požadavků vybraného dodavatele hradicích prvků.



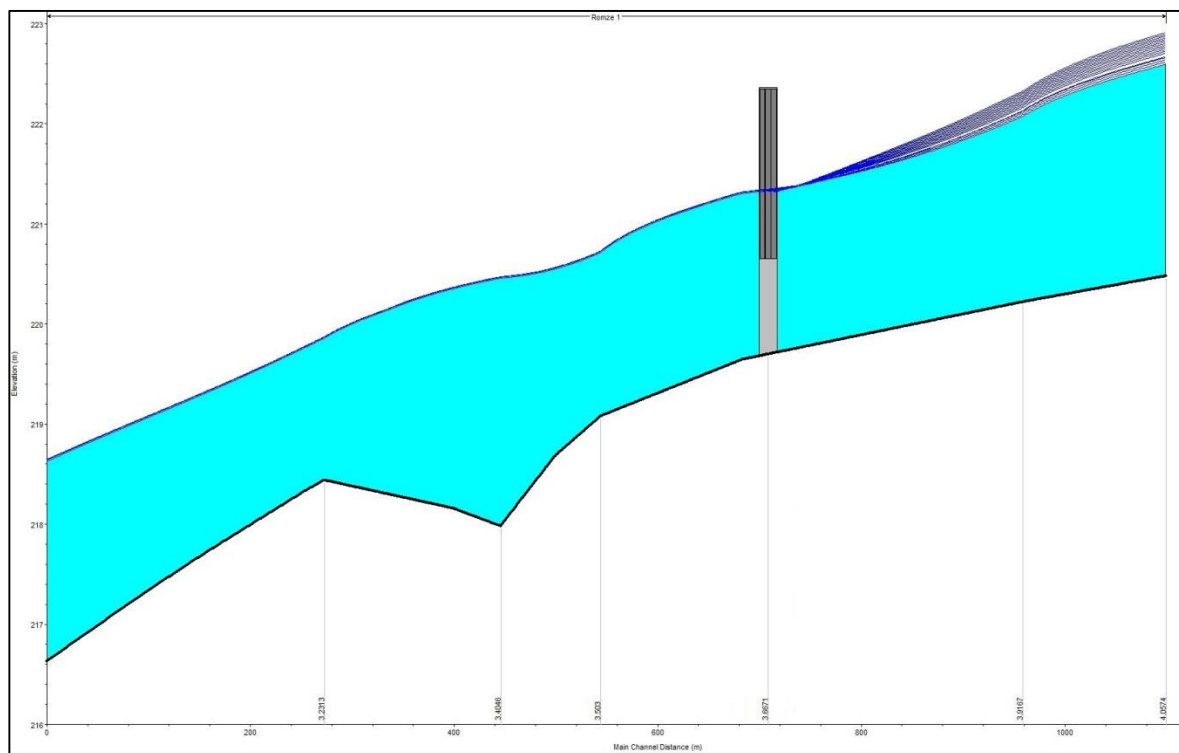
Obr. 24: Schéma stavidel firmy Ševčík. [25]

1- Stavidlový mechanismus, 2- rám stavidla, 3- cévové tyče, 4- stavidlová tabule

6.7 MANIPULACE

Pro splnění požadavku na odlehčování v řece Romži při průtoku $Q_{20} = 21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a více, je nutné provádět manipulaci se stavidly. Manipulace pro první výpočet byla uvažována jako symetrická, tedy se všemi stavidly se manipuluje stejně. Následující tabulka a graf popisují manipulaci se stavidly, která je v souladu se všemi požadavky. Manipulace je počítána do průtoku $Q_{100} = 37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na toku Romže

a při průtoku $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na toku Hloučela. Manipulace byla spočítána v programu HEC-RAS. Ve výsledcích manipulace h značí výšku otevření stavidel.



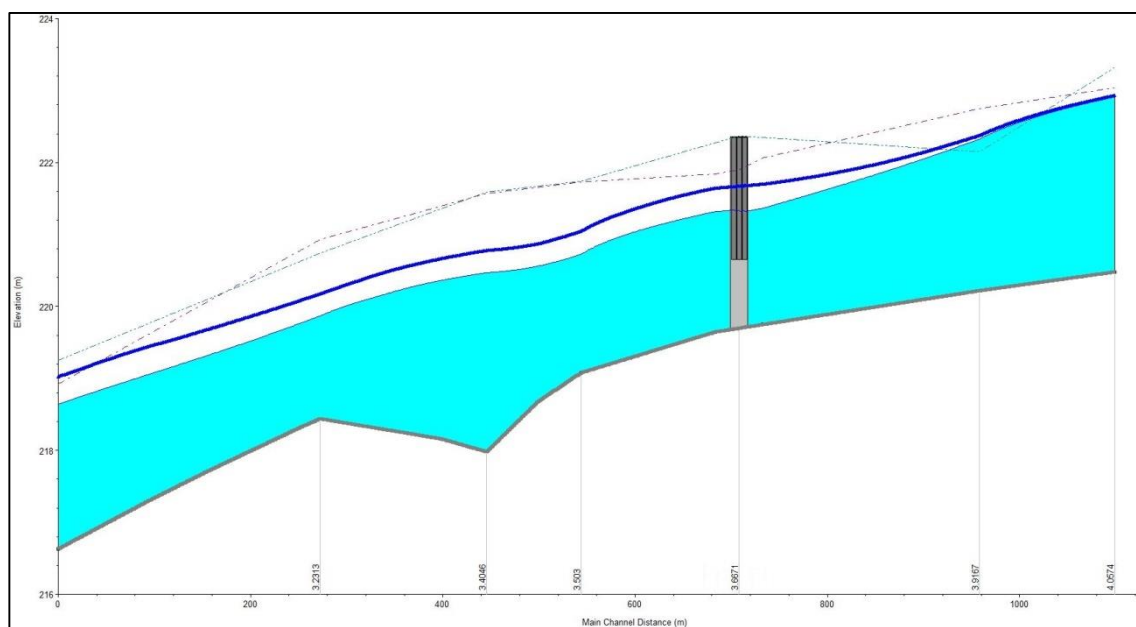
Obr. 25: Průběh hladin v Romže při manipulaci, průtoky $Q = 21,8 - 29,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tab. 24: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

HEC - symetrická manipulace			
Q_{kor}	h	Q_o	Q_{pod}
$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
21,8	0,000	0,00	21,80
22,3	0,020	0,55	21,75
22,8	0,035	0,96	21,84
23,3	0,055	1,50	21,80
23,8	0,075	2,05	21,75
24,3	0,090	2,47	21,83
24,8	0,110	3,01	21,79
25,3	0,128	3,51	21,79
25,8	0,145	3,97	21,83
26,3	0,165	4,51	21,79
26,8	0,185	5,05	21,75
27,3	0,200	5,47	21,83
27,8	0,225	5,95	21,85
28,3	0,270	6,49	21,81
28,8	0,350	6,97	21,83
29,3	0,475	7,45	21,85
29,8	0,568	7,99	21,81
30,5	0,560	7,96	22,54
31,0	0,495	8,00	23,00
31,5	0,445	7,97	23,53
32,0	0,395	7,93	24,07
32,5	0,340	7,96	24,54
33,0	0,310	7,94	25,06
33,5	0,290	7,97	25,53
34,0	0,283	7,87	26,13
34,5	0,273	7,98	26,52
35,0	0,263	7,91	27,09
35,5	0,255	7,94	27,56
36,0	0,250	7,96	28,04
36,5	0,248	7,97	28,53
37,0	0,244	7,93	29,07



Graf 10: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 26: Porovnání průběhů hladin pro průtok $Q = 21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tmavě bez odlehčováním, světle při odlehčování.

Jako druhá možnost manipulace byl zvolen výpočet, kdy byl na Hloučele zvolen průtok $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výpočet byl opět proveden v programu HEC-RAS a jako kritérium bylo použita maximální hodnota odlehčení $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tab. 25: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

HEC - symetrická manipulace			
Q_{kor}	h	Q_o	Q_{pod}
$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
21,8	0,000	0,00	21,80
22,3	0,020	0,55	21,75
22,8	0,035	0,96	21,84
23,3	0,055	1,50	21,80
23,8	0,075	2,05	21,75
24,3	0,090	2,47	21,83
24,8	0,110	3,01	21,79
25,3	0,128	3,51	21,79
25,8	0,145	3,97	21,83
26,3	0,165	4,51	21,79
26,8	0,185	5,05	21,75
27,3	0,200	5,47	21,83
27,8	0,220	6,00	21,80
28,3	0,255	6,53	21,77
28,8	0,318	7,01	21,79
29,3	0,420	7,49	21,81
29,8	0,518	7,97	21,83
30,5	0,510	8,00	22,50
31,0	0,450	7,98	23,02
31,5	0,420	8,00	23,50
32,0	0,370	8,00	24,00
32,5	0,323	7,89	24,61
33,0	0,290	7,99	25,01
33,5	0,280	7,99	25,51
34,0	0,270	7,95	26,05
34,5	0,265	7,92	26,58
35,0	0,255	7,94	27,06
35,5	0,253	7,97	27,53
36,0	0,250	7,96	28,04
36,5	0,248	7,97	28,53
37,0	0,245	7,96	29,04



Graf 11: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hlouchela $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tab. 26: Porovnání průběhů hladin na Romži pro průtok $Q = 29,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nad objektem) při odlehčování a bez odlehčování.

[ř. km]	Odlehčení	Průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Dno koryta [m n. m.]	Hladina vody [m n. m.]	Hloubka vody [m]	Rychlost proudě [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	Průtočná plocha [m^2]	Froudeovo číslo [-]
4,057	ANO	29,80	220,48	222,91	2,43	1,26	23,68	0,36
	NE	29,80	220,48	222,92	2,44	1,25	23,93	0,36
3,917	ANO	29,80	220,22	222,33	2,11	1,85	16,14	0,50
	NE	29,80	220,22	222,37	2,15	1,79	16,66	0,48
3,692	ANO	29,80	219,75	221,37	1,62	1,55	19,25	0,47
	NE	29,80	219,75	221,69	1,94	1,18	25,34	0,33
3,676		Rozdělovací objekt						
3,667	ANO	24,49	219,70	221,34	1,64	1,25	19,63	0,38
	NE	29,80	219,70	221,66	1,96	1,16	25,80	0,32
3,660	ANO	21,79	219,68	221,34	1,66	1,09	19,94	0,33
	NE	29,80	219,68	221,65	1,97	1,15	25,95	0,32
3,659	ANO	21,79	219,68	221,34	1,66	1,09	19,95	0,33
	NE	29,80	219,68	221,65	1,97	1,15	25,96	0,32
3,642	ANO	21,79	219,65	221,32	1,67	1,08	20,21	0,32
	NE	29,80	219,65	221,64	1,99	1,13	26,29	0,32
3,503	ANO	21,79	219,08	220,73	1,65	1,77	12,28	0,52
	NE	29,80	219,08	221,04	1,96	1,90	15,71	0,52
3,405	ANO	21,79	217,98	220,47	2,49	1,11	19,71	0,29
	NE	29,80	217,98	220,77	2,79	1,25	23,80	0,31
3,231	ANO	21,79	218,44	219,87	1,43	1,57	13,88	0,50
	NE	29,80	218,44	220,17	1,73	1,63	18,31	0,48
2,959	ANO	21,79	216,63	218,64	2,01	1,65	13,23	0,46
	NE	29,80	216,63	219,02	2,39	1,57	32,77	0,43

Při odlehčování na objektu pro průtok $Q = 29,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nad objektem) je průměrné snížení hladiny v profilech pod objektem o 0,30 m.

Při zamezování postupu hladiny od Hloučely odlehčovacím kanálem, tedy při realizaci vzdouvacího objektu kanálu, se změní manipulace na rozdělovacím objektu pro oba stavy, tedy pro průtoky $Q = 3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $Q = 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Hlouče.

Tab. 27: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, vzdouvací objekt v odlehčovacím kanálu.

HEC - symetrická manipulace			
Q_{kor}	h	Q_o	Q_{pod}
$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
21,8	0,000	0,00	21,80
22,3	0,020	0,55	21,75
22,8	0,035	0,96	21,84
23,3	0,055	1,50	21,80
23,8	0,075	2,05	21,75
24,3	0,090	2,47	21,83
24,8	0,110	3,01	21,79
25,3	0,128	3,51	21,79
25,8	0,145	3,97	21,83
26,3	0,165	4,51	21,79
26,8	0,185	5,05	21,75
27,3	0,200	5,47	21,83
27,8	0,225	5,93	21,87
28,3	0,287	6,53	21,77
28,8	0,375	7,03	21,77
29,3	0,490	7,51	21,79
29,8	0,575	7,97	21,83
30,5	0,560	7,92	22,58
31,0	0,481	8,00	23,00
31,5	0,445	7,96	23,54
32,0	0,398	7,97	24,03
32,5	0,358	7,99	24,51
33,0	0,325	8,00	25,00
33,5	0,310	7,96	25,54
34,0	0,290	7,99	26,01
34,5	0,275	7,98	26,52
35,0	0,260	7,96	27,04
35,5	0,255	7,95	27,55
36,0	0,252	7,95	28,05
36,5	0,248	7,97	28,53
37,0	0,246	7,98	29,02



Graf 12: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hlouchela $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, vzdouvací objekt v odlehčovacím kanálu.

Tab. 28: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, vzdouvací objekt v odlehčovacím kanálu.

HEC - symetrická manipulace			
Q_{kor}	h	Q_o	Q_{pod}
$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
21,8	0,000	0,00	21,80
22,3	0,020	0,55	21,75
22,8	0,035	0,96	21,84
23,3	0,055	1,50	21,80
23,8	0,075	2,05	21,75
24,3	0,090	2,47	21,83
24,8	0,110	3,01	21,79
25,3	0,128	3,51	21,79
25,8	0,145	3,97	21,83
26,3	0,165	4,51	21,79
26,8	0,185	5,05	21,75
27,3	0,200	5,47	21,83
27,8	0,228	6,03	21,77
28,3	0,288	6,48	21,82
28,8	0,380	7,01	21,79
29,3	0,490	7,51	21,79
29,8	0,575	7,97	21,83
30,5	0,563	7,98	22,52
31,0	0,484	7,92	23,08
31,5	0,445	7,96	23,54
32,0	0,398	7,97	24,03
32,5	0,355	7,95	24,55
33,0	0,340	7,95	25,05
33,5	0,310	7,96	25,54
34,0	0,285	8,00	26,00
34,5	0,280	7,97	26,53
35,0	0,270	7,99	27,01
35,5	0,262	7,95	27,55
36,0	0,255	7,96	28,04
36,5	0,248	7,97	28,53
37,0	0,245	7,96	29,04



Graf 13: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, vzdouvací objekt v odlehčovacím kanálu.

6.8 ZAÚSTĚNÍ DO TOKU HLOUČELY

Pro lokalitu zaústění odlehčovacího kanálu do toku Hloučely nebylo k dispozici zaměření, jak prostorové, tak ani výškové.

Zaústění odlehčovacího kanálu bude provedeno do levého břehu toku v ř. km 3,396 v nadmořské výšce 219,85 m n. m. Umístění v této nadmořské výšce je z kapacitních důvodů. Při odlehčování, současných větších průtocích a umístění dna kanálu do dna toku Hloučely, by docházelo k výraznému snížení kapacity. Aby byla kapacita zachována, musela by se geometrie kanálu ještě zvětšit. Z tohoto důvodu nebude kanál zahlouben do dna toku Hloučely, ale bude mít minimální hloubku 1,30 m. Levý břeh je konkávní, tudíž nebude docházet k zanášení prostoru výtoku z odlehčovacího kanálu.

V okolí zaústění odlehčovacího kanálu do toku bude provedeno opevnění svahů kamennou rovinou o velikosti od průměru zrna 0,40 po 0,60 a hmotnosti kamene od 100 do 150 kg. Břeh přímo pod zaústěním bude opevněn kamennou dlažbou o zrna 0,30 – 0,40 m a hmotnosti kamene od 150 - 200 kg. Dno toku Hloučely bude opevněno kamenným záhozem o velikosti kamene od 0,35 do 0,45 m a o hmotnosti v rozmezí 200

až 250 kg. V korytě Hloučely bude muset dojít i k opevnění protějšího, pravého břehu. Všechna tato opatření jsou popsána ve výkresové části - *příloha č. 11 a 12*. Pokud by došlo k realizaci projektu, muselo by proběhnout přesné zaměření oblasti zaústění kanálu do Hloučely a posléze i detailní návrh opatření.

7 ZHODNOCENÍ

V průběhu tvorby diplomové práce byly vytvořeny čtyři segmenty, ze kterých se skládá výsledná práce. Dílčí segmenty jsou: informace o zájmové lokalitě, teoretická část prováděných výpočtů a použitých programů, výpočty provedené v programu HEC-RAS a ručně provedené výpočty v programu Excel. Výsledky výpočtů jsou prezentovány jako texty, tabulky a grafy. Jako poslední segment bylo vytvořeno stavební řešení zadaného problému. Řešení je popsáno slovně, tabulkami a grafy v textové části a zároveň byla vytvořena výkresová dokumentace, která přesně popisuje řešení práce.

Výpočty průběhu hladin pro zvolené průtoky byly prováděny pro nejméně příznivé situace, které by při provozu mohly nastat. To se týká převážně volby drsnosti koryta, kde hodnoty součinitele drsnosti jsou postaveny na úsudku konkrétního řešitele. Autor práce se pokoušel určit hodnoty součinitele drsnosti dle svého nejlepšího úsudku a zkušeností.

Hydraulické výpočty bočního přepadu byly prováděny ručně a v programu HEC-RAS. Ruční výpočet byl proveden celkem sedmi metodami. Hydraulické výpočty v programu HEC-RAS byly provedeny podle dvou metod. Výsledné hodnoty hydraulických výpočtů byly porovnány a jako směrodatné pro konečný návrh rozdělovacího objektu byly použity hodnoty získané pomocí výpočtů vycházejících z energetického řešení.

Zajímavým zjištěním je shoda výsledků získaných při použití jednoduché rovnice dle Bürgela (hodnota součinitele šikmého nátoku $\lambda = 0,75$) s výsledky získanými složitým výpočtem dle energetického řešení bočního přepadu. To znamená, že je možné tento výpočet použít v praxi pro rychlé a relativně přesné zjištění základní geometrie bočního jezu.

Výsledky získané z hydraulických výpočtů byly použity pro návrh rozdělovacího objektu. Celkově bylo provedeno několik pracovních variant rozdělovacího objektu. Jednotlivé varianty se lišily převážně v umístění přelivné hrany spodní stavby objektu. Po připojení všech návazných staveb, jako je odlehčovací kanál a napojení na tok Hloučely, byla vybrána nejvýhodnější varianta. Ta byla zvolena jako výsledná a je také použita pro další postup v řešení.

Bylo potřeba vybrat vhodné hradící prvky. Jako nejvhodnější prvky pro hrazení rozdělovacího objektu byla zvolena stavidla. Jelikož se již jedná o hrazený přeliv, bylo nutné vypočítat manipulaci. Manipulace byla počítána pro dvě okrajové podmínky, kterými jsou průtoky na Hlouče $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledná manipulace byla zpracována do tabulek a grafů.

Na závěr řešení byla zpracována výkresová dokumentace, která popisuje výsledné řešení návrhu odlehčovacího objektu, hradící konstrukce, odlehčovacího kanálu a napojení odlehčovacího kanálu na tok Hloučely.

8 ZÁVĚR

Výstupem z diplomové práce je navržený rozdělovacího objekt na řece Romži. Výsledkem hydraulických výpočtů bočního přelivu je navržení geometrie rozdělovacího objektu. Objekt je koncipován jako třípólový boční jez. Jednotlivá pole mají šířku 5 m a jsou hrazena stavidly o celkové výšce 1,5 m. Přelivná hrana pevné stavby objektu je umístěna v nadmořské výšce 220,65 m n. m. Při tomto výškovém umístění je přepad pro průtok nad objektem $Q_{20+8} = 29,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ určen na hodnotu $Q_0 = 9,31 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, více v *Tab. 21*. Po zahrnutí součinitele zatopení je výsledná hodnota odlehčovaného průtoku $8,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Odlehčovací kanál slouží k převedení odlehčeného průtoku do toku Hloučely a má profil pravidelného lichoběžníku. Sklon svahů je navržen 1:2, šířka ve dně je 10 m a navržená min. hloubka je 1,3 m. Při návrhovém podélném sklonu dna 0,38 ‰ je kapacita odlehčovacího kanálu $10,93 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Návrh je popsán v *kapitole 6.3 a v přílohách 5, 7, 8 a 9*.

Pro splnění požadavku na odlehčování do průtoku $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bylo nutné určit manipulaci na rozdělovacím objektu. Výsledky výpočtů průtoků na odlehčení při manipulaci s uzávěry jsou podrobně zpracovány v *kapitole 6.7* pomocí tabulek a grafů. Manipulace byla počítána od $Q_{20} = 21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $Q_{100} = 37,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Romži a pro dva stavy na Hloučele, a to pro $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Poslední stavební částí je napojení odlehčovacího kanálu na Hloučelu. Zde bylo vyřešeno opevnění toku, aby nedocházelo k jeho narušení při přivádění odlehčovaných průtoků. Detailní opatření jsou popsána v *kapitole 6.8 a v přílohách 11 a 12*.

Celkově je navrhovaná stavba proveditelná jak z pohledu hydraulického, tak z pohledu stavebně technického. Pro konečné vyhodnocení by bylo zapotřebí provést propočet nákladů na provedení stavby a vyhodnocení protipovodňového účinku na řece Romži.

Návrh rozdělovacího objektu a kanálu vychází ze záměru města Prostějov, popsaného v dokumentu „Odtokový kanál vodních toků Romže a Hloučely“, který zpracovalo oddělení rozvoje a investičních záměrů ORI Prostějov v červnu 2012. V uvedeném dokumentu je předpokládán výškový rozdíl mezi Romží a Hloučelou o hodnotě cca 4,5 m. Výškový rozdíl, který byl k dispozici při návrhu konkrétního odlehčovacího kanálu, je pouze 0,40 m.

Autor práce je toho názoru, že pokud by byl výškový rozdíl 4,5 m pravdivý, tak by byl projekt odlehčování na toku Romže reálný. Při skutečném stavu by musela být stavba neúměrných rozměrů, při nevelkém protipovodňovém účinku.

V současné době je zpracovávána komplexní protipovodňová ochrana města Prostějov, která i nadále počítá s převáděním průtoků mezi Romží a Hloučelou, jako jednou z možných variant.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Hloučela. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlou%C4%8Dela>
- [2] Charakteristiky toku Romže. VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ TGM, v.v.i. [online]. [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: www.dibavod.cz/data/download/char_083_romze_1.tif
- [3] HEIS VÚV. *Základní vodohospodářská mapa ČR 1:50 000* [online]. cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/HEIS/ZVM50/mapovelistyn/2424.tif>
- [4] Geologická mapa 1:50 000. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. [online]. [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_50/
- [5] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Program ArcGIS: WMS služby* [online]. [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/wms>
- [6] Půdní mapa 1:50 000. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. [online]. [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/pudy/>
- [7] Koncepce zemědělské politiky a rozvoje venkova v Olomouckém kraji, analytická část [cit. 17-2-2014], Olomoucký kraj, dostupné z: <http://www.kr-olomoucky.cz/clanky/dokumenty/1732/analyticka-cast-zemedelstvi.doc>
- [8] Josef Blaha *Posouzení zanášení koryta toku Český potok v obci Čechy pod Kosířem*. Brno, 2014. 71 s., 18 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Hana Uhmánová, CSc.
- [9] ŘÍHA, Jaromír. *Ochranné hráze na vodních tocích*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 223 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3570-2.
- [10] MÄSIAR, Ernest; KAMENSKÝ, Jozef. *Hydraulika pre stavebných inžinierov: Objekty a potrubia*. Bratislava: Alfa, 1985.
- [11] Hager, W.H.: Lateral outflow over side weirs, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol.113, No.4, April, 1987, p. 491 - 504.
- [12] *HEC-RAS 4.1, Hydraulic Reference Manual* [online]. [cit. 2015-10-09]. Dostupné z: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf
- [13] POVODÍ MORAVY. Studie: Záplavové území Romže; km 0,000 – 15,072. Brno, 2010.
- [14] POVODÍ MORAVY. Studie: Záplavové území Hloučely; km 0,000 – 16,329. Brno, 2010.
- [15] VESELÝ, Jaroslav. *Vodohospodářské stavby: Modul 03, Vodní stavby*. Brno, 2004.
- [16] VD Plumlov. Povodí Moravy [online]. [cit. 2015-10-13]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/plumlov/>

- [17] PROF. ING. DR. KRATOCHVIL, Stanislav a Ladislav PROF. ING. VOTRUBA. *Jezy*. Praha: Redakce stavební literatury, 1966.
- [18] *Průvodní list útvaru povrchových vod Plánu oblasti povodí Moravy 2010 - 2015: Romže po soutok s tokem Hloučela* [online]. : 4 [cit. 2015-10-20]. Dostupné z: http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/inf_listy/prilohy/101.pdf
- [19] *Povodňový plán Olomouckého kraje – 2013: Plán ochrany území pod vybranými vodními díly před zvláštními povodněmi* [online]. In: . s. 15 [cit. 2015-10-26]. Dostupné z: http://www.povodnovyplan.cz/download/vecna-cast/08_Zvlastni_povodne.pdf
- [20] BRÁZDA, Daniel, ŠVANCARA, Jiří et HARAPÁT, Lukáš. *Studie proveditelnosti k realizaci přírodě blízkých protipovodňových opatření pro ochranu města Prostějov* [online]. In: . s. 28 [cit. 2015-10-26]. Dostupné z: <http://www.prostejov.eu/files/2015/studie-povodne-vrahovice.pdf>
- [21] *Povodňový plán ORV města Prostějov* [online]. [cit. 2015-10-26]. Dostupné z: http://www.mestopv.cz/files/povodnovy_plan/2012-v/index-php-action=28-public=.htm
- [22] Miškay, V.: *Hydraulický výpočet bočního přepadu*, Vodohospodářský časopis, ročník 25, č.6, 1977, str.561 - 585.
- [23] JANDORA, Jan; ŠULC, Jan. *Hydraulika: Modul 01*. Brno, 2006.
- [24] JURÁŇOVÁ, Barbora. *Návrh bypassu v rámci protipovodňové ochrany města Prostějov*. VUT Fast, Brno 2015. 56 s., 119 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Hana Uhmánová, CSc.
- [25] *Stavidlový uzávěr motorový. Ševčík - vodohospodářská zařízení s.r.o.* [online]. [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://www.sevcik-vz.cz/stavidlovy-uzaver-motorovy.php>
- [26] *Manipulační řád pro vodní dílo Plumlov na řece Hloučel v km 9,700*. Povodí Moravy, s.p., Brno, vodohospodářský dispečink, 2013
- [27] *Záplavová území. VÚV T.G.Masaryka* [online]. [cit. 2015-10-13]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/index.php?id=27>
- [28] ŠLEZINGR, Miloslav. *Revitalizace toků: příspěvek k problematice úprav vodních toků*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010, 255 s. ISBN 978-80-214-3942-9.
- [29] ŠLEZINGR, Miloslav. *Říční typy I: horní tok: úvod do problematiky úprav toků*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2010, 169 s. ISBN 978-80-7375-460-0.

10 PŘEDPISY

Zákon 254/2001 Sb., o vodách ve znění dalších předpisů.

ČSN 73 6820 Úpravy vodních toků (1973).

ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod (1990)

TNV 75 2102 Úpravy potoků (1995).

TNV 75 2103 Úpravy řek (1998).

ČSN 75 0120 Vodní hospodářství – Terminologie hydrotechniky (2009).

ČSN EN 13383-1 Kámen pro vodní stavby

11 POUŽITÉ ZKRATKY A ZNAČKY

ČOV		čistírna odpadních vod
k.ú.		katastrální území
m n. m.		metrů nad mořem
ORP		obec s rozšířenou působností
ř. km		řiční kilometr
s.p.		státní podnik
VD		vodní dílo
VS		vodní skok
α	[-]	Coriolisovo číslo
β	[rad]	hlavní úhel kontrakce kanál v radiánech
λ	[-]	součinitel šikmého nátoky
σ_b	[-]	součinitel bočního přepadu
σ_z	[-]	součinitel zatopení
ε	[-]	úhel rozevírání břehové čáry vývaru
ΔL_j	[m]	délka mezi úseky
Δh_j	[m]	rozdíl hladin mezi profily
Δ	[-]	úhel rozevírání dna vývaru
χ	[-]	koeficient
κ	[-]	koeficient bočního přepadu
C_0	[-]	základní součinitel výtoku
C	[-]	součinitel přepadu přes jez
	$[m^{0,5} s^{-1}]$	Chézyho součinitel
c	[-]	tvarový součinitel
E	[m]	energetická výška průřezu
Fr	[-]	Froudovo číslo
g	$[m s^{-1}]$	tíhové zrychlení
H	[feet]	energetická výška před přelivem
	[feet]	výška hladiny nad jezem
	[m]	hloubka koryta
h_1	[m]	první vzájemná hloubka
h_2	[m]	druhá vzájemná hloubka
h	[m]	hloubka vody
h_d	[m]	hloubka dolní vody
h_{mj}	[m]	ztráta místní
h_p	[m]	přepadová výška
h_{tj}	[m]	ztráta třením po délce
h_{zj}	[m]	celková ztráta mechanické energie

H_t	[feet]	energetická výška nad jezem
h_w	[feet]	výška jezu nad zemí
i	[%]	sklon dna
L	[m]	aktivní délka přelivu
	[feet]	délka přelivné hrany
	[m]	délka vývaru
m	[-]	přepadový součinitel
m	[-]	součinitel čelního přepadu (Hager)
m_s	[-]	opravný součinitel bočního přepadu
n	[-]	drsnostní součinitel podle Manninga
n_i	[-]	drsnostní součinitel části profilu
O	[m]	omočený obvod
O_i	[m]	omočený obvod části profilu
Q	[m ³ ·s ⁻¹]	průtok
Q_a	[m ³ ·s ⁻¹]	průměrný průtok
Q_k	[m ³ ·s ⁻¹]	kontrolní průtok
Q_o	[m ³ ·s ⁻¹]	odlehčovaný průtok
Q_N	[m ³ ·s ⁻¹]	návrhový průtok
v	[m s ⁻¹]	průtočná rychlost
R	[m]	hydraulická poloměr
r	[m]	poloměr zaoblení přelivné hrany
S	[m ²]	průtočná plocha

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Zájmové území [3].....	12
Obr. 2: Geologické poměry [4]	12
Obr. 3: Rozmístění sond [5]	13
Obr. 4: Pedologické poměry [6].....	14
Obr. 5: Klimatické oblasti Olomouckého kraje [7].....	16
Obr. 6: Rozliv vody při povodni Q_{20} [27]	21
Obr. 7: Rozliv vody při povodni Q_{100} [27]	22
Obr. 8: Charakter koryta toku Romže	25
Obr. 9: Nátrž břehu po průchodu povodně.....	26
Obr. 10: Uspořádání stavidlového jezu [15]	28
Obr. 11: Schéma klapkového jezu [15].....	29
Obr. 12: Schéma segmentového jezu [15]	30
Obr. 13: Schéma modelu v programu HEC-RAS.	31
Obr. 14: Okno zadávání bočních konstrukcí [8]	38
Obr. 15: Okno zadávání geometrie [8].....	41
Obr. 16: Výsledný model rozdělovacího objektu	43
Obr. 17: Schéma pro výpočet dle Engelse [10].....	45
Obr. 18: Výpočtové schéma Kunštátský [10]	47
Obr. 19: Schéma pro výpočet podle Hagera [11].....	50
Obr. 20: Porovnání přepadu čelního a bočního [11]	50
Obr. 21: Výpočtové schéma říčního proudění	54
Obr. 22: Průběh hladiny při průtoku $Q_{20} = 21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, po provedené úpravě (výstup z programu HEC-RAS).....	57
Obr. 23: Schéma kanálu	60
Obr. 24: Schéma stavidel firmy Ševčík. [25].....	69
Obr. 25: Průběh hladin v Romže při manipulaci, průtoky $Q = 21,8 - 29,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	70
Obr. 26: Porovnání průběhů hladin pro průtok $Q = 21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tmavě bez odlehčováním, světle při odlehčování.	72

13 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Průměrné klimatické hodnoty pro Olomoucký kraj 2003 [7].....	15
Tab. 2: N-leté průtoky na řece Hloučele, r. 2010 [26]	16
Tab. 3: N-leté průtoky na řece Romži, r. 2010 [13].....	17
Tab. 4: Využití území v blízkosti řešeného toku [18].....	18
Tab. 5: Bilance lesní půdy v roce 2003 [7]	18
Tab. 6: Hodnocení stavu vodního toku [18].....	19
Tab. 7: Bodové znečištění toku [18]	20
Tab. 8: Vypouštění vod dle původu [18]	20
Tab. 9: Zdroje vypouštění vod [18].....	20
Tab. 10: Doba prázdnění maximálním naplnění nádrže [19].....	23
Tab. 11: Hydrotechnické výpočty průlomové vlny [19].....	24
Tab. 12: Požadovaná míra ochrany vodních děl při povodni [9].....	34
Tab. 13: Návrhové průtoky pro předběžné stanovení míry ochrany [9]	34
Tab. 14: Přepadový součinitel obdélníkového jezu [23].....	35
Tab. 15: Okrajové podmínky	35
Tab. 16: Tabulka odlehčovaného průtoku, přelivná hrana 220,9 m n. m.	58
Tab. 17: Tabulka odlehčovaného průtoku, přelivná hrana 220,8 m n. m.	59
Tab. 18: Tabulka odlehčovaného průtoku, přelivná hrana 220,7 m n. m.	59
Tab. 19: Vzájemné hloubky VS pod rozdělovacím objektem.	61
Tab. 20: Kapacita odlehčovacího kanálu.	61
Tab. 21: Tabulka odlehčovaného průtoku (neovlivněný), přelivná hrana 220,65 m n. m.	64
Tab. 22: Měrná křivka podle programu HEC-RAS.	65
Tab. 23: Měrná křivka podle programu Excel	67
Tab. 24: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	71
Tab. 25: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	73
Tab. 26: Porovnání průběhů hladin na Romži pro průtok $Q = 29,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (nad objektem) při odlehčování a bez odlehčování.	75
Tab. 27: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, vzdouvací objekt v odlehčovacím kanálu.....	76
Tab. 28: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, vzdouvací objekt v odlehčovacím kanálu.....	78

14 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Podíl ZP z celkové výměry a procento zornění v roce 2003 [7]	17
Graf 2: Upravený profil ř. km 3,702	55
Graf 3: Upravený profil ř. km 3,667	56
Graf 4: Upravený profil ř. km 3,632	56
Graf 5: Schéma příčného profilu odlehčovacího kanálu.....	60
Graf 6: Měrná křivka rozdělovacího objektu, závislost odlehčovaného množství na přepadové výšce, HEC-RAS.	66
Graf 7: Měrná křivka rozdělovacího objektu, závislost odlehčovaného množství na průtoku, HEC-RAS.	66
Graf 8: Měrná křivka rozdělovacího objektu, závislost odlehčovaného množství na přepadové výšce, Excel.	68
Graf 9: Měrná křivka rozdělovacího objektu, závislost odlehčovaného množství na průtoku, Excel.	68
Graf 10: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	72
Graf 11: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	74
Graf 12: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, vzdouvací objekt v odlehčovacím kanálu.....	77
Graf 13: Manipulace na rozdělovacím objektu, Hloučela $Q = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, vzdouvací objekt v odlehčovacím kanálu.....	79

15 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Fotodokumentace

Příloha 2: Ukázka výpočtu energetické rovnice bočního přepadu

Příloha 3: Ukázka výpočtu Hagerovy rovnice bočního přepadu

Příloha 4: Ukázka výpočtů bočního přepadu

Příloha 5: Přehledná situace M 1:5000

Příloha 6: Podélný profil Romže M 1:2000/100

Příloha 7: Podélný profil odlehčovacího kanálu M 1:2000/100

Příloha 8: Příčný řez A-A' rozdělovacím objektem M 1:100

Příloha 9: Půdorys rozdělovacího objektu M 1:200

Příloha 10: Řez B-B': Pohled na rozdělovací objekt M 1:100

Příloha 11: Půdorys zaústění odlehčovacího kanálu M 1:200

Příloha 12: Příčný řez C-C': Zaústění odlehčovacího kanálu M 1:100